

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA STAVEBNÍ MECHANIKY

Rozhledna z materiálů na bázi dřeva
Observation tower made of wooden – based materials

Student: Bc. Nikola Fojtíková
Vedoucí diplomové práce: Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavební mechaniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Nikola Fojtíková**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Rozhledna z materiálů na bázi dřeva**
Observation tower made of wooden - based materials

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Historický vývoj a typy rozhleden.
- 2) Dispoziční řešení navrhovaného objektu.
- 3) Návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů v mezním stavu únosnosti i použitelnosti.
- 4) Detailní analýza vybraných typů spojů.
- 5) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

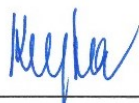
- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- 4) ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- 5) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály.
- 6) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Mikolášek, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 01.12.2017



doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použila podklady (výkresy) firmy Czech Canada s.r.o.

V Ostravě:

.....

Bc. Nikola Fojtíková

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

Bc. Nikola Fojtíková

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

FOJTÍKOVÁ, N. *Rozhledna z materiálů na bázi dřeva: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra mechaniky, 2017, 72 stran. Vedoucí práce: Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem a výpočtem dřevěné rozhledny. Práce obsahuje historii turistických rozhleden. Cílem práce je, návrh konstrukčního řešení jednotlivých nosných prvků a vybraných spojů rozhledny a následné provedení statické analýzy. Převládajícím konstrukčním materiálem je lepené lamelové dřevo. Statická analýza jednotlivých dřevěných prvků a bezpečnostní řešení konstrukce se provádí v souladu s platnými předpisy ČSN EN.

Součástí diplomové práce je 3D model vytvořený v programu Scia Engineer 2016 a výkresová dokumentace.

Klíčová slova:

Dřevěná rozhledna, rozhledna, lepené lamelové dřevo

ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

FOJTÍKOVÁ, N. *Observation tower made of wooden – based materials: Dissertation Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanics 2017, 72p. Thesis head: Ing. David Mikolášek, Ph.D.

The diploma thesis deals with the design and calculation of wooden observation tower. The theises contains the history of tourist observation. The aim of the thesis is to design structural solutions of individual supporting elements and selected connections of the lookout tower and to carry out static analysis. The main construction material is glued laminated wood. The static analysis of the individual wooden elements and the safety design of the structure are carried out in accordance with the valid ČSN EN regulations.

Part of my work is a 3D model created in program Scia Enginner 2016 and design documentation.

Keywords:

Wooden observation, observation, glued laminated wood

Obsah

1. Úvod	- 12 -
2. Lepené lamelové dřevo	- 13 -
3. Definice rozhledny	- 14 -
4. Historie a rozdělení rozhleden	- 15 -
4.1. Historie v českých zemích	- 15 -
4.2. Typy rozhleden.....	- 16 -
4.2.1. Lehké a těžké	- 17 -
4.2.2. Rozdělení dle materiálu	- 18 -
4.2.3. Rozdělení podle tvaru	- 20 -
4.2.4. Rozhledny podle využití	- 21 -
5. Rozhledna u Jakuba	- 22 -
5.1. Situování rozhledny	- 23 -
5.2. Dispoziční a konstrukční řešení	- 24 -
6. Materiálové vlastnosti.....	- 27 -
7. Výpočet zatížení	- 28 -
8. Stálé zatížení.....	- 29 -
8.1. Střešní plášť	- 29 -
8.2. Podlaží.....	- 29 -
8.3. Schodiště	- 29 -
9. Proměnné zatížení.....	- 30 -
9.1. Proměnné zatížení střechy.....	- 30 -
9.2. Proměnné zatížení plošin a schodiště.....	- 30 -
9.3. Zatížení sněhem	- 30 -
9.4. Zatížení větrem.....	- 31 -
9.4.1. Zatížení větrem na střechu	- 34 -
9.4.2. Zatížení větrem na příhradovou konstrukci	- 35 -

10. Prokluz	- 38 -
11. Výpočet nosných prvků	- 39 -
11.1. Sloupy	- 40 -
11.2. Obvodové trámy	- 43 -
11.3. Hlavní nosníky podlaží a ztužení	- 47 -
11.4. Vedlejší nosníky podlaží	- 50 -
11.5. Vedlejší nosníky ztužení	- 53 -
11.6. Maximální deformace rozhledny	- 56 -
12. Detailní analýza vybraných spojů	- 57 -
12.1. Spoj 1	- 57 -
12.2. Spoj 2	- 60 -
12.3. Spoj 3	- 63 -
13. Závěr	- 65 -
Zdroje	- 67 -
Seznam obrázků	- 68 -
Seznam tabulek	- 70 -
Použité programy	- 71 -
Přílohy	- 72 -

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D	Označení pro speciální část počítačové grafiky, která pracuje s trojrozměrnými objekty	
ČSN	Česká technická norma	
EN	Norma Evropské komise pro normalizaci	
ŽB	Železobeton	
LLD	Lepené lamelové dřevo	
MSÚ	Mezní stav únosnosti	
MSP	Mezní stav použitelnosti	
A	plocha	[m ²]
A	součet průmětů ploch prutů do čelní plochy	[m ²]
A _c	plocha ohraničená okraji čelní plochy	[m ²]
C _s	sooučinitel expozice	[-]
C _t	tepelný součinitel	[-]
E _{0,05}	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti	[MPa]
E _{0,mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti	[MPa]
F _{v,Rd}	návrhová únosnost spojovacího prostředku	[kN]
F _{v,Rk}	charakteristická únosnost spojovacího prostředku	[kN]
G _{0,05}	hodnota 5 % kvantilu modulu pružnosti ve smyku	[MPa]
G _{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	[MPa]
H	výška	[m]
I _v	intenzita turbulence	[-]
I _{y(z)}	moment setrvačnosti k dané ose	[m ⁴]
K _{ser}	modul prokluzu pro MSP	[MN/m]
K _u	modul prokluzu pro MSÚ	[MN/m]

L	délka	[m]
L_{ef}	efektivní délka	[m]
L_u	délka	[m]
M_{Ed}	návrhový ohybový moment	[kNm]
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti spoje	[N/mm]
N_{Ed}	návrhová normálová síla	[kN]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
V_{Ed}	návrhová posouvající síla	[kN]
$W_{y(z)}$	průřezový modul k dané ose	[m ³]
$W_{y(z),pl}$	plastický modul průřezu k dané ose	[m ³]
b	šířka	[m]
$c_{0(z)}$	součinitel ortografie	[-]
$c_{0(z)}$	součinitel orografie	[-]
c_{dir}	součinitel směru větru	[-]
$c_{f,0,l}$	součinitel síly pro vítr	[-]
$c_{r(z)}$	součinitel drsnosti	[-]
c_s, c_d	součinitel konstrukce	[-]
c_{season}	součinitel ročního období	[-]
d	průměr	[mm]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{h,k}$	charakteristická pevnost v otlčení	[N/mm ²]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost v ohybu	[MPa]

$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu	[MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{t,90,d}$	návrhová pevnost v tahu kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{t,90,k}$	charakteristická pevnost v tahu kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku	[MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku	[MPa]
$f_{w,k}$	zatížení větrem na příhradovou konstrukci	[kN/m]
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení	[kN/m]
h	výška	[m]
$i_{y(z)}$	poloměr setrvačnosti k dané ose	[m]
$k_{c,y(z)}$	součinitel vzpěrnosti	[-]
k_{crit}	součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu	[-]
k_{def}	deformační součinitel	[-]
k_{mod}	modifikační součinitel	[-]
k_r	součinitel terénu	[-]
k_r	součinitel terénu	[-]
$k_{y(z)}$	součinitel vzpěrnosti	[-]
n_{ef}	účinný počet spojovacích prostředků	[-]
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení	[kN/m]
$q_{p(z)}$	charakteristický maximální dynamický tlak	[kN/m ²]
s_k	zatížení sněhem	[kN/m ²]
t_1	menší tloušťka krajního dřevěného prvku	[m]
t_2	tloušťka středního dřevěného prvku	[m]
v_b	základní rychlost větru	[m/s]
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru	[m/s]

w_{fin}	konečný průhyb	[mm]
$w_{inst,G}$	okamžitá deformace od stálého zatížení	[mm]
$w_{inst,Q}$	okamžitá deformace od proměnného zatížení	[mm]
w_k	výsledný tlak větru	[kN/m ²]
z_0	parametr drsnosti	[m]
z_{min}	minimální výška	[m]
γ_M	součinitel spolehlivosti materiálu	[-]
λ_{rel}	poměrná štíhlost	[-]
φ	součinitel plnosti	[-]
λ	štíhlost	[-]
ψ_λ	součinitel koncového efektu	[-]
$\lambda_{rel,m}$	poměrná štíhlost	[-]
$\lambda_{y(z)}$	štíhlostní poměry ohybu kolem dané osy	[-]
$\lambda_{y(z),real}$	štíhlostní poměry ohybu kolem dané osy	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³]
ρ_k	hustota dřeva	[kg/m ³]
ρ_{mean}	průměrná hustota	[kg/m ³]
$\tau_{v,d}$	návrhové napětí ve smyku	[MPa]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí za ohybu	[MPa]
$\psi_{0,i}$	součinitel pro kombinační hodnotu proměnných zatížení	[-]
$\psi_{2,i}$	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení	[-]

1. Úvod

Dřevo je přírodní organický buněčný materiál. Snadno se opracovává a můžeme z něj vytvářet výrobky různých tvarů. Ve stavebnictví se používá už tisíciletí a je všestranně využitelné, má široké využití ať už na stropy, schodiště či okna, ale také na mosty a lávky či dřevěné stavby například roubené, hrázděné nebo stavby z lepeného lamelového dřeva.

Cílem této diplomové práce je návrh a posouzení turistické rozhledny. V první části práce je obsažena historie a rozdělení rozhleden. Dále je uvedeno dispoziční řešení vybrané rozhledny U Jakuba. Další část je věnována výpočtu zatížení, návrhu a posouzení vybraných prvků a spojů rozhledny. Jednotlivé prvky budou navrženy tak aby vyhověly meznímu stavu únosnosti a použitelnosti.

3D model rozhledny bude zpracován v programu Scia Engineer 2016, součástí diplomové práce bude výkresová dokumentace zpracována v programu AutoCAD Architecture 2014.

2. Lepené lamelové dřevo

Lepené lamelové dřevo (LLD) umožňuje použití pro nejrůznější účely, přičemž spojuje funkci statickou a estetickou. Lze vyrábět prvky velkých profilů, délky jsou limitovány pouze dopravou, nosníky je možné ohýbat ve více směrech.

Výhody LLD:

- vysoká estetická hodnota
- statická spolehlivost, požární odolnost
- tvarová a konstrukční variabilita
- výhodná cena
- rychlá montáž
- výborný poměr hmotnosti a únosnosti
- vysoká míra prefabrikace

Použití LLD:

- Střešní vazníky, stropní trámy, průvlaky, nosníky, sloupy apod.
- Stavby k bydlení, kanceláře a administrativní budovy
- Průmyslové budovy, sklady
- Tělocvičny, zimní stadiony, sportovní haly a bazény
- Hotely a restaurace
- Rozhledny
- Lávky a mosty

3. Definice rozhledny

V naší zemi existuje řada míst s jedinečným výhledem, ať už to jsou vrcholy hor, skalní vyhlídky opatřené zábradlím a přístupovým schodištěm, dřevěné či zděné altánky ve stráních nad vodními toky či veřejnosti přístupné kostelní nebo radniční věže. Řada těchto objektů plní vyhlídkový účel. Přesto se však nejedná o rozhlednu v pravém slova smyslu. [9]

Rozhledna je vyhlídková stavba s prostorem vyvýšeným nad okolním terénem. Často také bývá vybudována jakou součástí jiné stavby, například na Malé Prašivé (obr. 2) je součástí horské chaty či na Kozubové (obr. 1) jako součást kaple. Mezi nejznámější rozhledny světa patří Eiffelova věž v Paříži. V České republice je pravděpodobněji nejznámější Petřínská rozhledna v Praze. [13]

Rozhledna by měla splňovat několik základních kritérií:

- vytvořena lidskou činností
- určená či upravena k účelům rozhlížení
- s vyhlídkovým prostorem umístěným alespoň několik metrů nad terénem
- přístupná veřejnosti (někdy jen v určitém časovém období)
- všeobecně uznávaná jako rozhledna

Jednoznačná definice termínu rozhledna však neexistuje, a tak se často setkáváme s objekty, které tyto podmínky nesplňují. [13]



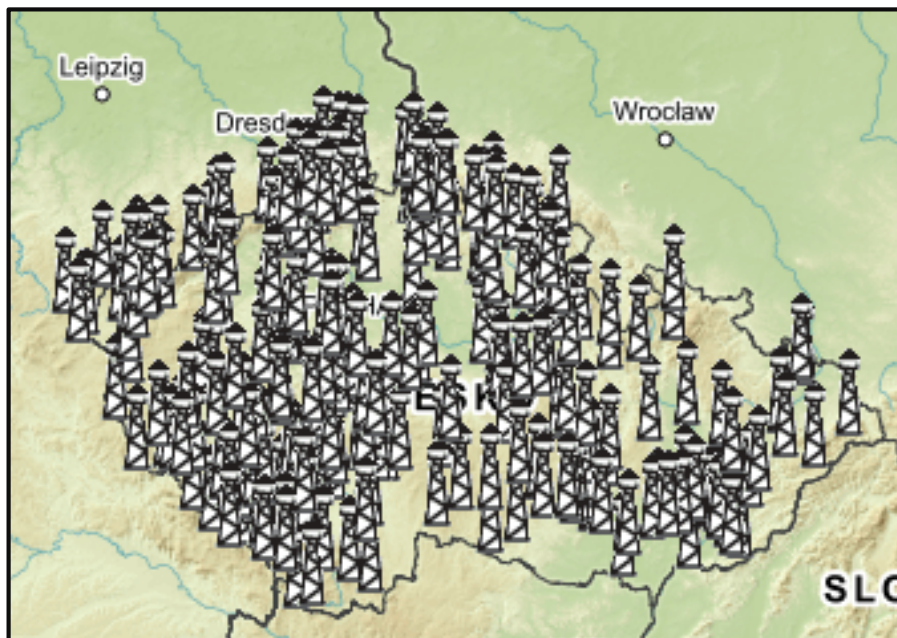
Obr. 1 – Rozhledna na Kozubové [15]



Obr. 2- Rozhledna na Malé Prašivé [15]

4. Historie a rozdělení rozhleden

Česká republika je, co se týče počtu, historie a obliby rozhleden světovou velmocí. Konkurovat ji mohou jen její středoevropští sousedé. Na našem území v minulosti stálo nebo dosud stojí více než 350 rozhleden. Mapa rozhleden je zobrazena na obr. 3. [11]



Obr. 3- Mapa rozhleden ČR [<http://rozhledny.kohl.cz/mapa>]

4.1. Historie v českých zemích

Historie rozhleden na našem území se píše již dvě stovky let. Nejstarší vyhlídkové věže se začali stavět v 19. století. Ne estetická hlediska, ale nutnost a obava z nepřítele vedla majitele středověkých panství ke stavbě věží. [12]

Ve druhé polovině 19. století se do výstavby rozhleden zapojila především lázeňská města. V našich největších lázních Karových Varech byla první rozhledna postavena v roce 1845. O skutečný rozmach výstavby rozhleden se však postaraly až turistické spolky, kdy se v 80. letech 19. století zvýšil zájem o turistiku. V tomto období se stavěly především dřevěné rozhledny (v Jizerských horách a na Děčínsku), které příliš slouhu nevydržely. Na jejich místech vznikaly nové – někdy i kamenné. [12]

Nejstarší rozhlednou postavenou v roce 1802 je Minaret (obr. 5) v Lednicko – Valtickém areálu. První horskou rozhlednou se stala roku 1825 Josefovská věž na Kleti (obr. 4). [12]



Obr. 4 – Josefovská věž a Kleti



Obr. 5 - Minaret

4.2. Typy rozhleden

Rozdělení rozhleden lze rozdělit:

- lehké a těžké
- podle materiálu, který je použit na stavbu
- podle tvaru rozhledny
- podle využití.

4.2.1. Lehké a těžké



Obr. 6 – Lehká rozhledna

Lehké rozhledny mohou být stavěny do výšek, které umožní charakteristika použitých materiálů. Lehké rozhledny jsou řešeny z oceli, dřeva či jejich vzájemnou kombinací. Nemusejí být vybaveny jedinou vrcholovou vyhlídkou, tyto mohou být umístěny i v průběhu stoupání po výstupovém schodišti. Vyhlídkové plošiny mohou být zastřešeny, případně částečně zastřešeny, rovněž mohou být dále opláštěny

vhodným materiálem. V rámci výstavby areálu rozhledny může být realizován i jakýkoli jiný objekt, který může být s rozhlednou tematicky spřízněn. [14]

Těžké rozhledny TTV-R mohou být stavěny až do výšky 70 m. Dřík rozhledny je sestaven ze železo-betonových skruží nebo je vybetonován jako monolit. Skruže jsou po výšce opatřeny průběžnými kanálky, které slouží pro uložení vertikální výztuže. Ta se navzájem spojuje pomocí šroubových objímek. Dřík bývá někdy ze statického hlediska ztužen. [14]



Obr. 7 – Těžká rozhledna

Těžké rozhledny bývají také doplněny o provozní objekt, pro účely např. pokladny, nebo pro jiné účely např. technologické místnosti, v případě, že rozhledna slouží zároveň jako vysílač signálů mobilních operátorů. Tento objekt může být umístěn v patě věže, nebo se řeší jako samostatně stojící objekt. Na vyhlídkovou plošinu rozhledny je výstup pro veřejnost zajištěn pomocí točitého schodiště, které je vedeno po vnějším obvodu dříku rozhledny. Opláštění může být vzdušné jen pomocí ocelového zábradlí, případně jej mohou tvořit ocelové pláty nebo dřevěné šindele. [14]

4.2.2. Rozdělení dle materiálu

Dnes se staví rozhledny ocelové, dřevěné, zděné, betonové (železobetonové) nebo kombinace materiálů.

Dřevěné rozhledny: v minulosti se jednalo o nejjednodušší a nejlevnější rozhledny. V krajním případě stačilo pouze ukotvit a vztyčit čtyři trámy, spojit je příčkami, z prken sbít vyhlídkovou plošinu a přístup zajistit pomocí žebříku. Dnes se staví i složitější rozhledny – tzv. stezky korunami stromů či stezky v oblacích. Na obr. 8 jsou znázorněny dřevěné rozhledny – Velký Javorník, Stezka korunami stromů -Lipno a Stezka v oblacích - Dolní Morava. [9]



Obr. 8- Dřevěné rozhledny: Velký Javorník, Lipno, Dolní Morava

Ocelové rozhledny jsou vlastně obdobou dřevěných věží. Proti dřevěným rozhlednám mají výhodu vyšší pevnosti a odolnosti vůči nepřízní počasí. Ocel díky svým vlastnostem umožňuje stavět vysoké stavby. Na obr. 9 je zobrazena ocelová rozhledna Jarník.[9]



Obr. 9 – Ocelová rozhledna - Jarník

Zděné rozhledny se v minulosti stavěli nejčastěji. Pro stavbu rozhledny se používal především kámen, cihly popřípadě jejich kombinace. Byly bytelné, schopny vydržet sto a více let a odolali extrémním klimatickým podmínkám. Navíc se nemuseli moc udržovat. Zděné rozhledny umožňují pohodlný a bezpečný výstup, vyhlídkovou plošinu, která se nehoupá ve větru. Na obr. 10 je zobrazena zděná rozhledna Jedlová.[9]



Obr. 10 – Zděná rozhledna – Jedlová

Železobetonové rozhledny: ŽB je nejčastěji využívám ke stavbě těžkých, vysokých a masivních rozhleden, kde nosnou funkci tvoří monolitické či prefabrikované jádro ve středu stavby. To bývá doplněno podružnou ocelovou konstrukcí. Můžeme ovšem najít i menší rozhledny ze železobetonu, které primárně sloužily jiným účelům nebo jsou součástí rekreačních objektů (např. vodárny.) – příklad Vodárenská věž v Heřmanové Huti (obr. 11) na Plzeňsku. [9]



Obr. 11- Vodárenská věž v Heřmanové Huti [15]

4.2.3. Rozdělení podle tvaru

Rozhledny mohou mít kruhový, čtvercový či čtyřúhelníkový či elipsovité půdorys. Mohou mít konstantní průřez po celé výšce nebo se mohou zeštlhlovat směrem k vrcholu. Na vrcholu bývá vyhlídková plošina, která většinou mívá větší plochu než konstrukce pod ní. V dnešní době je moderní stavět rozhledny ve tvaru spirály (např. rozhledna Vartovna- obr. 12), šroubovice (např. rozhledna na Fajtově kopci u Velkého Meziříčí – obr.12) či hyperboloidu (např. rozhledna Borůvka- obr.12).



Obr. 12 – Rozhledny: Vartovna, na Fajtově kopci [14], Borůvka [14]

4.2.4. Rozhledny podle využití

Nejčastěji se setkáme s turistickými rozhlednami. V minulosti se stavěly strážní, součástí hradů a zámků nebo také vojenské věže. Dnes se také staví rozhledny pro astronomické účely (rozhledna na Hostýně- obr. 13), vodárenské věže či rozhledny součástí vysílačů – Lhotka u Hradčovic obr. 13. [9]



Obr. 13- Rozhledny Lhotka u Hradčovic, Hostýn [14]

5. Rozhledna u Jakuba

Tvarem připomíná úhledně ořezanou tužku. Jedná se o originální dřevěnou konstrukci z lepených modřínových profilů s ocelovým schodištěm zakončenou dřevěnou oplechovanou střechou ve tvaru šestibokého jehlanu. Na rozhledně jsou celkem tři vyhlídková podlaží, z nichž nejvyšší je umístěno ve výšce 33,3 m. Na rozhledně se nachází točité ocelové schodiště se 180 schody z modřínových stupňů.



Obr. 14 – Rozhledna u Jakuba

V betonovém základu je umístěna galerie rozhleden a turistické centrum s občerstvením. Se svou výškou 40,7 m se tak stala nejvyšší stavbou svého druhu na území Česka. Výstavba trvala zhruba 8 měsíců (fotky z výstavby jsou uvedeny v příloze 2 [16]). Rozhledna U Jakuba byla otevřena 1. července 2013.

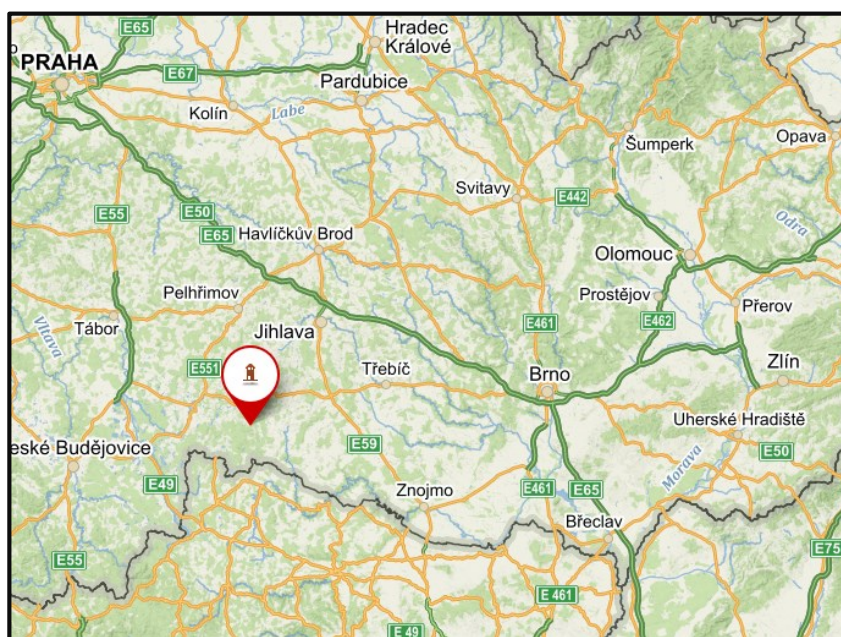
Výkresy se základními rozměry rozhledny byly poskytnuty firmou Czech Canada s.r.o. (čestné prohlášení viz příloha 1).

Technické informace [16]:

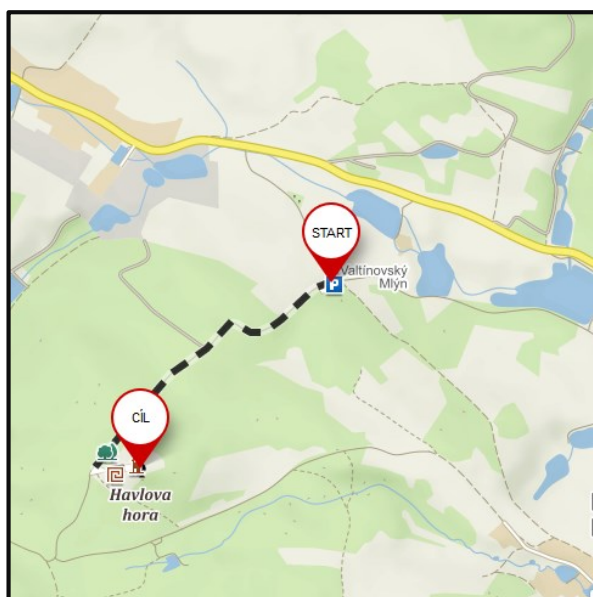
- | | |
|---------------------|-------------------------|
| ▪ Výška stavby: | 40,7 m (bez ŽB základu) |
| ▪ Výška vyhlídky: | 33,3 m (bez ŽB základu) |
| ▪ Výška ŽB základu: | 4 m |
| ▪ Počet schodů: | 180 |
| ▪ Šířka schodiště: | 1200 mm |
| ▪ Nadmořská výška: | 680 m.n.m |
| ▪ Množství betonu: | 120 m ³ |
| ▪ Množství dřeva: | 89 m ³ |
| ▪ Množství oceli: | 36,5 tun |

5.1. Situování rozhledny

Tato rozhledna se nachází na Havlově hoře nedaleko obce Valtínov – okres Jindřichův Hradec (obr. 15). Rozhledna se nachází v nadmořské výšce 680 m.n.m. Tato lokalita se nachází v oblasti nazvané Česká Kanada. Přístupová cesta vede po sjezdu ze silnice I. třídy č. 151, kde se nachází odstavné parkoviště. Dále je možné jít pěšky po vyznačené trase směrem k rozhledně – jedná se o nenáročnou cestu, dlouhou zhruba 1 km. (obr.16).



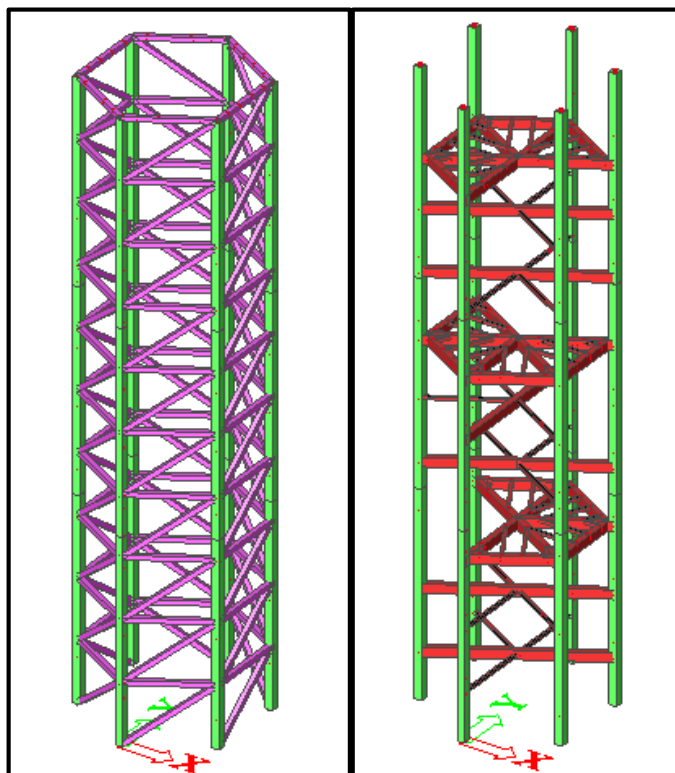
Obr. 15 – Situace rozhledny u Jakuba



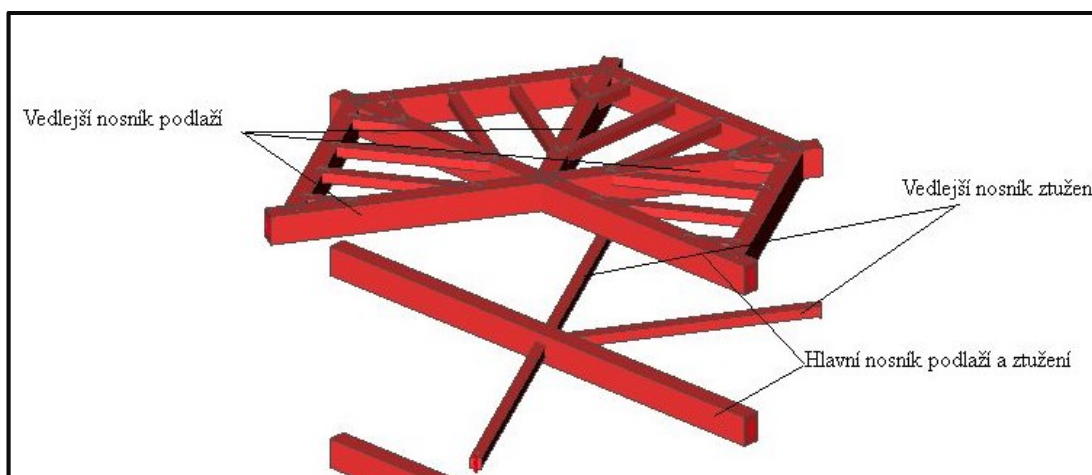
Obr. 16 – Trasa na rozhlednu

5.2. Dispoziční a konstrukční řešení

Půdorys rozhledny tvoří pravidelný šestiúhelník o poloměru 4,5 m. Hlavní nosná konstrukce je tvořena jedenácti obvodovými sloupy a sto dvaceti trámy, které tvoří příhradu (obr. 17). Obvodové trámy spojují vždy sousední podlaží. Zhruba ve $\frac{3}{4}$ každého podlaží se nachází ztužení. Tři vyhlídkové plošiny umístěné ve čtvrtém, sedmém a posledním podlaží zároveň ztužují dané patro (obr. 17). Jednotlivé prvky ztužení jsou zobrazeny na obr. 18.

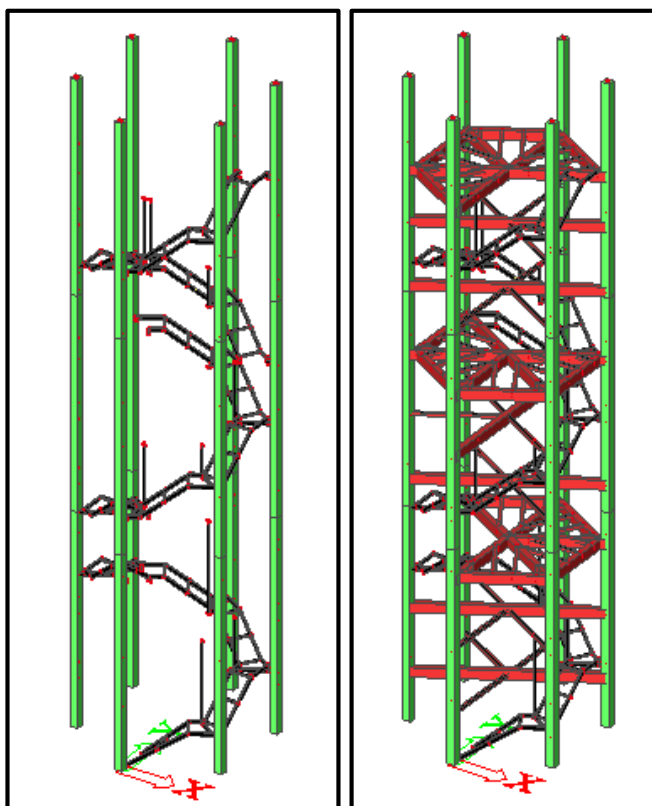


Obr. 17 – Sloupy, obvodové trámy, ztužení



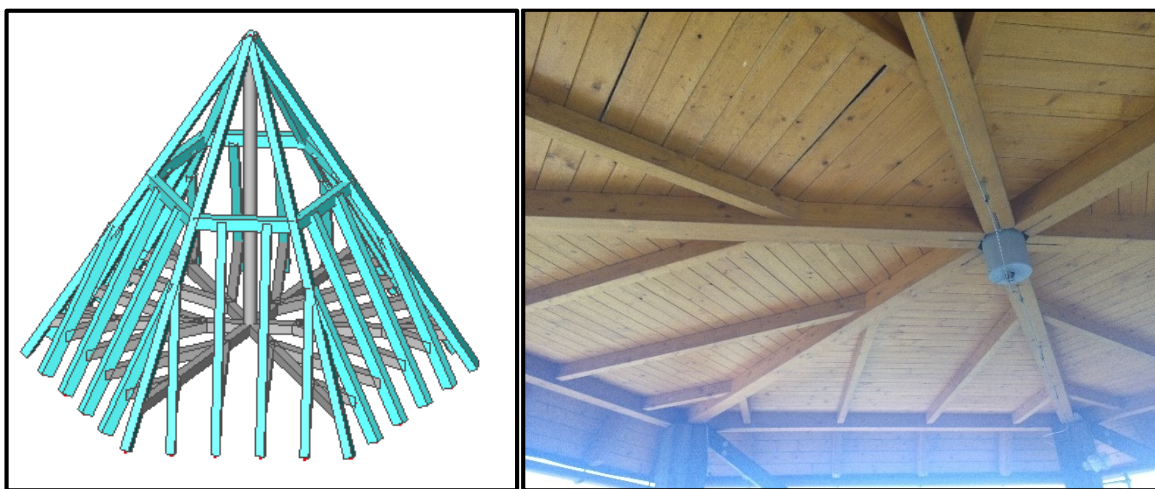
Obr. 18 – Prvky ztužení

Schodiště je z ocelových profilů, jednotlivé podesty jsou uloženy na ocelových profilech, které jsou spojeny s hlavními sloupy a ztužujícími prvky. Na obr. 19 je znázorněno schodiště.



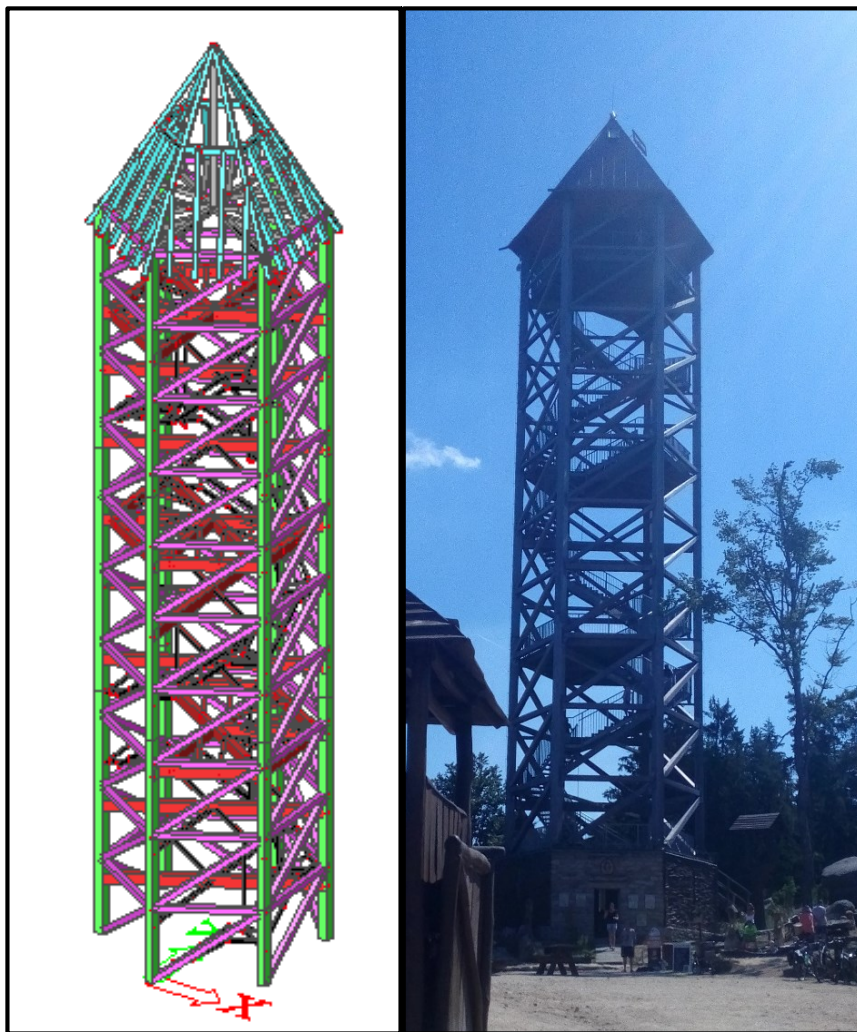
Obr. 19 - Schodiště

Střecha je ve tvaru šestibokého jehlanu. Ze spodní strany je konstrukce střechy podbitá deskami. Střecha je znázorněna na obr. 20.



Obr. 20 – Konstrukce střechy

Celá konstrukce rozhledny se skládá z 587 prutů, 12 – ti průřezů a 623 uzlů. Na obr. 21 je znázorněn model a reálná konstrukce rozhledny.



Obr. 21 – Model x reálná konstrukce

6. Materiálové vlastnosti

Při návrhu nosné konstrukce bylo použito lepené lamelové dřevo. V tabulce 1 se nachází výpis jednotlivých pevnostních charakteristik, moduly pružnosti a objemové hmotnosti pro charakteristické a i návrhové hodnoty [6].

Tabulka 1 – LLD: GL24h

LLD - GL24h					
		Charakteristické hodnoty:	kmod	γM	Návrhové hodnoty:
PEVNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY [MPa]			Krátkodobé zatížení		
Ohyb	f _{m,k}	24	0,7	1,25	13,440
Tah	f _{t,0,k}	19,2			10,752
	f _{t,90,k}	0,5			0,280
Tlak	f _{c,0,k}	24			13,440
	f _{c,90,k}	2,5			1,400
Smyk	f _{v,k}	3,5			1,960
MODULY PRUŽNOSTI [GPa]					
Modul pružnosti	E _{0,mean}	11,5			
	E _{0,05}	9,6			
	E _{90,mean}	0,3			
OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [kg/m³]					
Hustota	ρ _k	385			
Průměrná hustota	ρ _{mean}	420			

7. Výpočet zatížení

Rozhledna je namáhána stálým a proměnným zatížením. Výpočet zatížení byl proveden dle normy ČSN EN 1991-1

V programu Scia Enginner 2016 bylo provedeno 10 zatěžovacích stavů. Vlastní tíha, stálé zatížení, proměnné zatížení od osob na jednotlivých podlaží a schodišti, působení větru a oprava střechy. Všechny stavy byly počítány s charakteristickými hodnotami. Výpočet zatížení je zobrazeno v kapitolách 8 a 9.

Stálé zatížení:

- Vlastní tíha
- Zatížení střešního pláště, podlaží a schodiště

Proměnné zatížení:

- Proměnné zatížení střechy
- Proměnné zatížení plošin a schodiště
- Zatížení větrem
- Zatížení sněhem (nebylo počítáno)

8. Stálé zatížení

8.1. Střešní plášť

Střešní plášť se skládá ze střešního plechu, izolační folie a bednění. Stálé zatížení, které působí na konstrukci je umístěno na vedlejších krokách, které jsou od sebe vzdáleny 0,9 m. Výpočet stálého zatížení na střešní plášť je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 – Stálé zatížení: střešní plášť

Typ zatížení	Výpočet	zatížení g_k [kN/m]
Plech–Ruukki classic ($\gamma=5,2 \text{ kg/m}^2$)	$0,052 \cdot 0,9$	0,047
Izolační folie ($\gamma=1,85 \text{ kg/m}^2$)	$0,0185 \cdot 0,9$	0,0167
Podbití deskami ($\gamma=6 \text{ kg/m}^2$)	$0,06 \cdot 0,9$	0,054
Celkové zatížení na střechu		0,118

8.2. Podlaží

Stálé zatížení na jednotlivý podlaží se skládá z dřevěných prken, které jsou od sebe vzdáleny 0,9 m. Dále okolo podlaží se nachází ocelové zábradlí. Stálé zatížení na jednotlivá podlaží se nachází v tabulce 3.

Tabulka 3 – Stálé zatížení: podlaží

Typ zatížení	Výpočet	zatížení g_k [kN/m]
Podbití deskami ($\gamma=6 \text{ kg/m}^2$)	$0,06 \cdot 0,9$	0,054
Zábradlí ($\gamma=10 \text{ kg/m}^2$)	$0,01 \cdot 1,5$	0,15

8.3. Schodiště

Na schodiště působí dřevěné schodišťové stupně. Vzdálenost mezi jednotlivými stupni je 0,3 m. Na jedno rameno schodiště působí polovina zatížení. Dále se po obvodu schodiště nachází ocelové zábradlí výšky 1,5 m. Zatížení na schodiště je uvedeno v tabulce 4.

Tabulka 4 – Stálé zatížení: schodiště

Typ zatížení	Výpočet	zatížení g_k [kN/m]
Schodišťový stupeň ($\gamma=6 \text{ kg/m}^2$)	$(0,06 \cdot 0,3)/2$	0,009
Zábradlí ($\gamma=10 \text{ kg/m}^2$)	$0,01 \cdot 1,5$	0,15
Celkem		0,159

9. Proměnné zatížení

9.1. Proměnné zatížení střechy

Proměnné zatížení pro střešní prvky je kategorie typu H. Jedná se o nepřístupné plochy s výjimkou běžných oprav a údržby. S proměnným zatížením střechy nebylo v kombinaci uvažováno, protože zatížení od větru je větší a tyto dvě zatížení se nekombinují.

Tabulka 5 – Proměnné zatížení: střecha

Typ zatížení	Výpočet	zatížení q_k [kN/m]
Kategorie H ($q_k=0,75\text{kN/m}^2$)	$0,75 \cdot 0,9$	0,675

9.2. Proměnné zatížení plošin a schodiště

Proměnné zatížení pro výpočet plošin a schodiště je kategorie typu C5.

Tabulka 6 – Proměnné zatížení: plošiny a schodiště

Typ zatížení	Výpočet	zatížení q_k [kN/m]
Plošiny-kategorie C5 ($q_k=5\text{kN/m}^2$)	$5 \cdot 0,9$	4,5
Schodiště – kategorie C5 ($q_k=3\text{kN/m}^2$)	$(3 \cdot 0,3)/2$	0,45

9.3. Zatížení sněhem

Se zatížením sněhem není počítáno (viz. níže)

Rozhledna se nachází v okrese Jindřichův Hradec, které odpovídá sněhová oblast IV. Bylo uvažováno se zatížením sněhem na střechu a k navátí sněhu na jednotlivá podlaží, protože objekt není zakrytý stěnami.

▪ Výpočet zatížení sněhem na střechu:

Sněhová oblast IV $\Rightarrow s_k=2 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice (typ krajiny normální) $\Rightarrow C_e=1,0$

Tepelný součinitel $\Rightarrow C_t=1,0$

Sklon střechy $\alpha=60^\circ \Rightarrow \mu=0$

Zatížení sněhem:

$$s_{k,1} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

▪ Výpočet zatížení sněhem na podlaží:

Sněhová oblast IV	$\Rightarrow s_k = 2 \text{ kN/m}^2$
Součinitel expozice (typ krajiny normální)	$\Rightarrow C_e = 1,0$
Tepelný součinitel	$\Rightarrow C_t = 1,0$
Sklon $\alpha = 0^\circ$	$\Rightarrow \mu = 0,8$

Zatížení sněhem:

$$s_{k,1} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Důvod proč nebylo počítáno se zatížením sněhem:

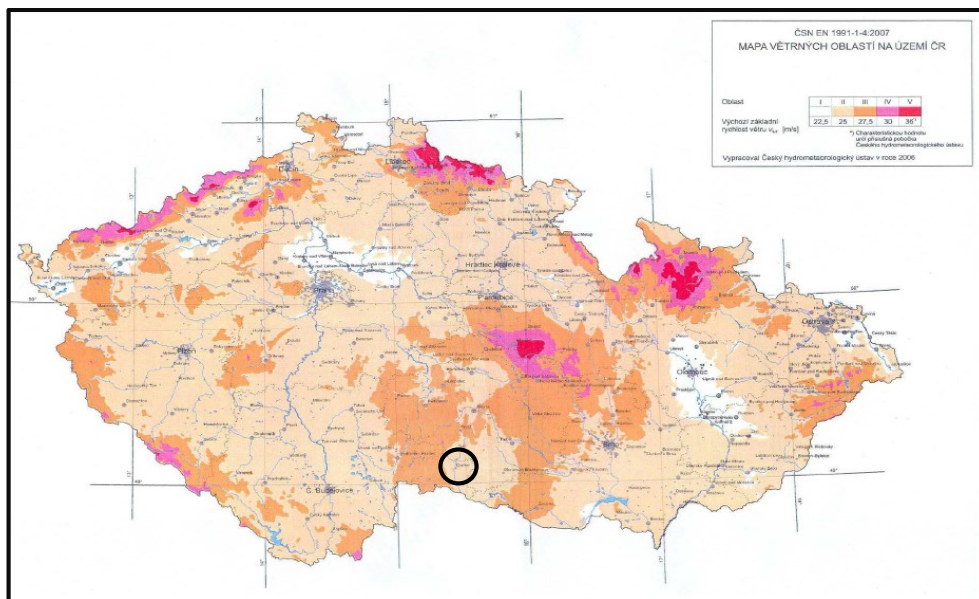
- Proměnné zatížení od osob je větší než zatížení sněhem na podlaží
- Rozhledna je v zimním období a za nepříznivého počasí uzavřena

9.4. Zatížení větrem

Jedním ze základních parametrů pro určení zatížení konstrukcí větrem je charakteristický maximální dynamický tlak q_p , který zahrnuje střední rychlost větru a krátkodobou turbulentní složku. Maximální tlak je ovlivněn povětrnostními podmínkami dané oblasti, místními vlivy (například drsností terénu, orografií oblasti) a výškou nad terénem.

POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY

Povětrnostní podmínky jsou dány dle různých oblastí v jednotlivých evropských státech a popisují se hodnotami charakteristické desetiminutové střední rychlosti větru $v_{b,0}$ (tzv. výchozí základní rychlosti větru). Tyto hodnoty jsou pro českou republiku zobrazeny dle mapy zobrazené na obrázku 22. Rozhledna se nachází ve větrové oblasti II \Rightarrow střední rychlost pro tuto oblast je rovna 25 m/s.



Obr. 22 – Výchozí rychlost větru [3]

Základní rychlost větru v_b lze určit ze vztahu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad 1,00 \cdot 1,00 \cdot 25 = 25 \text{ ms}^{-1} \quad (9.4.1)$$

Kde součinitel směru větru c_{dir} a součinitel ročního období c_{season} se pro běžné případy uvažují hodnotou 1,00.

MÍSTNÍ VLIVY

Střední rychlost větru $v_m(z)$ ve výšce z nad terénem je ovlivněna místními vlivy, jako jsou drsnost terénu a orografie, které se vyjadřují pomocí součinitele drsnosti $c_r(z)$ a součinitele orografie $c_o(z)$.

Součinitel drsnosti $c_r(z)$:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{40,7}{0,3} = 1,058 \quad (9.4.2)$$

Musí platit podmínka: $z \geq z_{min}$, kde z je výška objektu, která je uvažována jako 40,7 m, z_{min} je minimální výška, jedná se o tabulkovou hodnotu, v tomto případě se rovná 5 m pro kategorii terénu III (Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami).

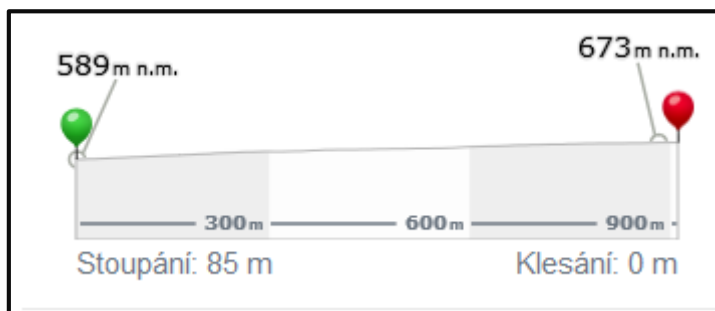
Součinitel terénu k_r se určí ze vztahu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (9.4.3)$$

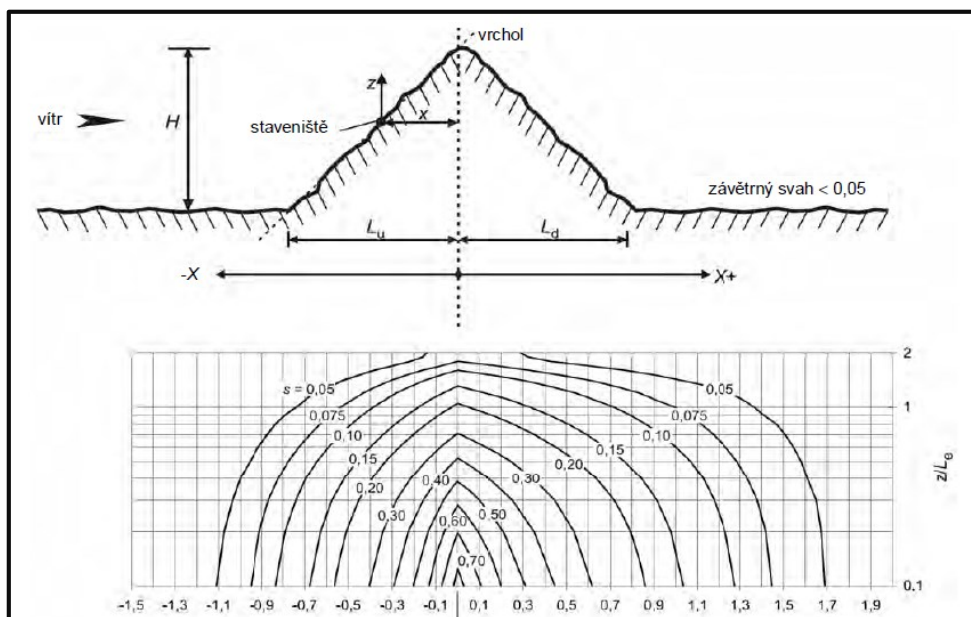
Kde z_0 je parametr drsnosti terénu, který je dán z tabulky pro kategorii terénu III. jako 0,3

Součinitel orografie $c_o(z)$:

Na izolovaných kopcích, hřebenech nebo srážech a strmých svazích se vyskytují jiné rychlosti větru, závislé na sklonu $\phi = H/L_u$ návětrného svahu ve směru větru. Z map byla zjištěna délka a výška svahu- obr. 23. Výška $H=85$ m, délka $L_u=916$ m. Pro výpočet byl použit graf pro kopce a hřebeny hor – obr. 24. Rozhledna je vzdálena od vrcholu 25 m. Na tuto vzdálenost terén klesne o 2,5 m.



Obr. 23 – Schéma terénu [www.mapy.cz]



Obr. 24 – Součinitel pro kopce a hřebeny hor [3]

$$\phi = \frac{H}{L_u} = \frac{85}{916} = 0,093 \quad (9.4.4)$$

Pro pozvolný terén: $L_e = L_u = 916$ m

$x = 25$ m

$z = 2,5$ m

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \frac{z}{L_e} + 1,0124$$

$$= 1,007 \quad (9.4.5)$$

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 1,0577 \cdot \frac{z}{L_e} + 2,6456 = 2,643 \quad (9.4.6)$$

$$s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{x}{L_u}\right)} = 1,007 \cdot e^{(2,643 \cdot (-0,0273))} = 0,937 \quad (9.4.7)$$

Pro sklon návětrného svahu $0,05 < \phi < 0,3$:

$$c_{0(z)} = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi = 1 + 2 \cdot 0,937 \cdot 0,093 = 1,174 \quad (9.4.8)$$

CHARAKTERISTICKÝ MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

Pro určení výsledného zatížení větrem je významný charakteristický maximální dynamický tlak $q_p(z)$, který se stanoví ze vztahu:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2 \quad (9.4.9)$$

kde:

Intenzita turbulence I_v se vypočítá dle vztahu:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1,174 \cdot \ln \frac{40,7}{0,3}} = 0,173 \quad (9.4.10)$$

Charakteristická střední rychlost větru v_m se vypočítá:

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,058 \cdot 1,174 \cdot 25 = 31,039 \text{ m/s} \quad (9.4.11)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,173] \cdot \frac{1}{2} 1,25 \cdot 31,039^2 = 1,333 \text{ kN/m}^2$$

9.4.1. Zatížení větrem na střechu

Součinitele výsledného tlaku/sání pro dané oblasti:

Tabulka 7 – Minimální a maximální součinitele pro zatížení větrem na střechu

Max			Min		
C_{p,net}	A	1,3	C_{p,net}	A	-1,4
	B	1,9		B	-1,8
	C	1,6		C	-1,4
	D	0,7		D	-2

Výsledné tlaky a sání větru na střešní konstrukci:

$$w_k = q_{p(z)} \cdot c_{p,net} \cdot \text{roznášecí šířka}$$

$$w_k^{A+} = 1,333 \cdot 1,3 \cdot 0,9 = 1,56 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{A-} = 1,333 \cdot (-1,4) \cdot 0,9 = -1,68 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{B+} = 1,333 \cdot 1,9 \cdot 0,9 = 2,28 \text{ kN/m}$$

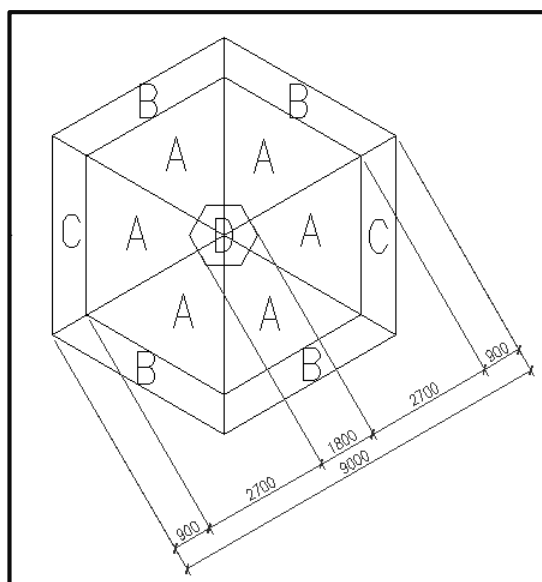
$$w_k^{B-} = 1,333 \cdot (-1,8) \cdot 0,9 = -2,16 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{C+} = 1,333 \cdot 1,6 \cdot 0,9 = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{C-} = 1,333 \cdot (-1,4) \cdot 0,9 = -1,68 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{D+} = 1,333 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,84 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{D-} = 1,333 \cdot (-2) \cdot 0,9 = -2,4 \text{ kN/m}$$



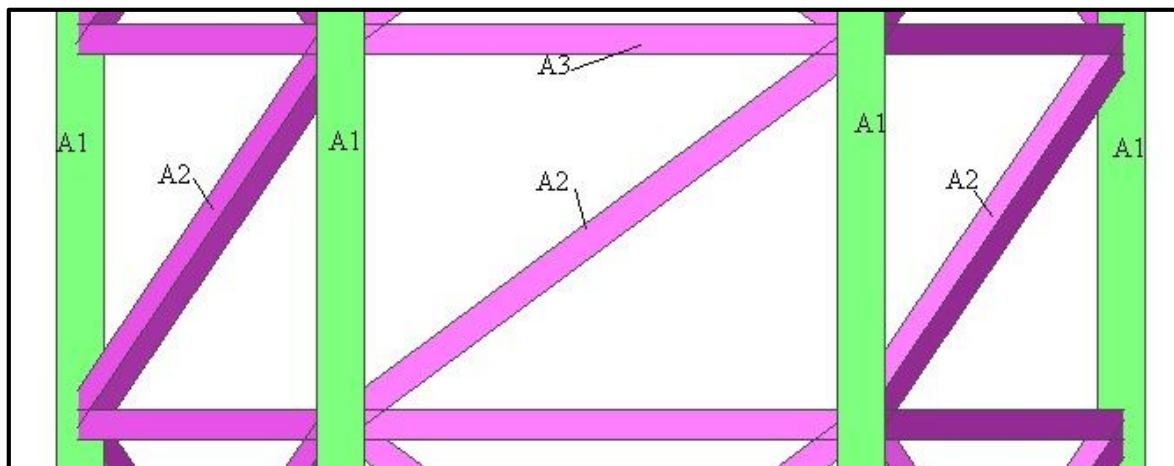
Obr. 25- Vitr působící na půdorys střechy

9.4.2. Zatížení větrem na příhradovou konstrukci

Při výpočtu zatížení větrem na příhradovou konstrukci je třeba vypočítat součinitel síly, který je ovlivněn součinitelem koncového efektu ψ_λ . Tento součinitel je funkcí štíhlosti a součinitele plnosti. Součinitel plnosti je dán jako poměr celkové zaplněné plochy a plochy skutečné.

Součinitel plnosti:

Skutečná plocha je vypočtena na jedno patro rozhledny – obr. 26, pro ostatní patra bude plocha stejná.



Obr. 26 – Náhled na patro rozhledny

$$A_c = d \cdot l = 9 \cdot 3,33 = 29,7 m^2 \quad (9.4.2.1)$$

$$A = 4 \cdot A_1 + 3 \cdot A_2 + A_3 = 4 \cdot (0,4 \cdot 3,33) + 3 \cdot (0,26 \cdot 12,728) + (0,26 \cdot 9) = 17,6 m^2 \quad (9.4.2.2)$$

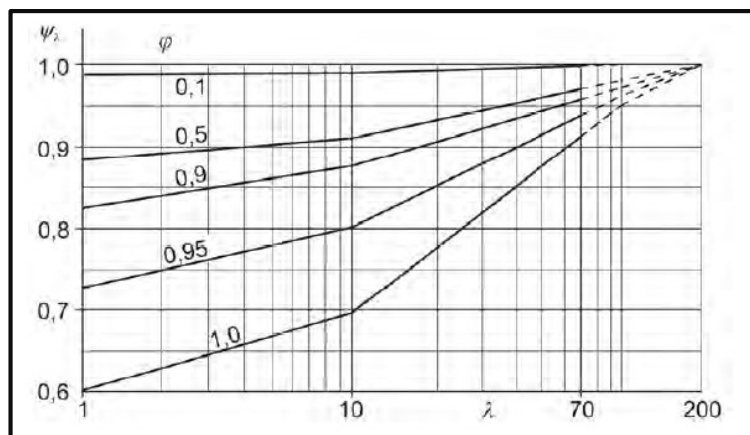
Do skutečné plochy bylo počítáno i zábradlí, které bylo uvažováno jako 10% celkové plochy.

$$A_{celk} = A + 0,15 \cdot A = 17,6 + 0,1 \cdot 17,6 = 19,36 m^2 \quad (9.4.2.3)$$

$$\text{Součinitel plnosti: } \varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{19,36}{29,7} = 0,6 \quad (9.4.2.4)$$

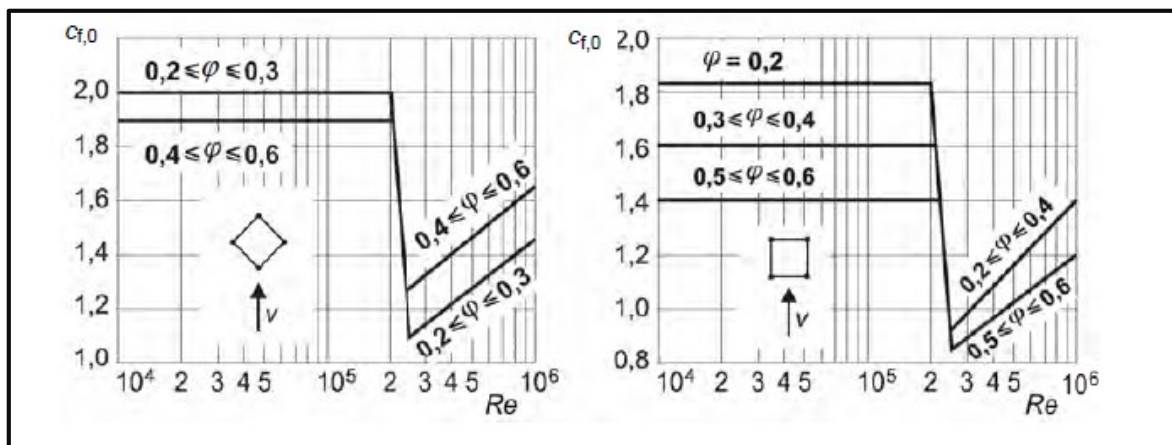
$$\text{Štíhlost: } \lambda = \frac{l}{b} = \frac{40,7}{9} = 4,552 \quad (9.4.2.5)$$

Dle obr. 27 – byl dopočítán součinitel koncového efektu $\psi_\lambda = 0,89$.



Obr. 27 – Součinitel koncového efektu [3]

Součinitel síly byl zjištěn z tabulek z normy [3] –obr. 28, kde byl vybrán tvar příhradové konstrukce jako čtverec, protože se nejvíce podobá tvaru rozhledny. Byly vybrány obě varianty působení větru.



Obr. 28 – Součinitel síly pro prostorovou příhradovou konstrukci [3]

Součinitel síly pro vítr foukající na vrchol šestiúhelníku:

$$c_{f,0} = 1,9$$

$$c_{f,1} = c_{f,0} \cdot \psi_{\lambda} = 0,89 \cdot 1,9 = 1,691 \quad (9.4.2.6)$$

Součinitel síly pro vítr foukající na stěnu šestiúhelníku:

$$c_{f,0} = 1,4$$

$$c_{f,1} = c_{f,0} \cdot \psi_{\lambda} = 0,89 \cdot 1,4 = 1,246 \quad (9.4.2.6)$$

Součinitel konstrukce $c_s c_d = 1,1$ byl zvolen dle hodnot, pro konstrukce, které se podobají rozhledně z norem.

Celková síla a příhradovou konstrukci je rozpočítána rovnoměrně na jednotlivé prvky čelní plochy konstrukce jako spojitě zatížení (podle jejich šířky b), což lépe vystihuje skutečné působení větru na konstrukci. Výsledné spojitě zatížení na jednotlivé prvky příhradové konstrukce:

Vítr na vrchol šestiúhelníku:

$$f_{w,k,1} = c_s c_d \cdot c_{f,1} \cdot q_p \cdot b = 1,1 \cdot 1,691 \cdot 1,333 \cdot 0,4 = 1 \text{ kN/m} \quad (9.4.2.7)$$

Vítr na stěnu šestiúhelníku:

$$f_{w,k,2} = c_s c_d \cdot c_{f,1} \cdot q_p \cdot b = 1,1 \cdot 1,246 \cdot 1,333 \cdot 0,26 = 0,475 \text{ kN/m} \quad (9.4.2.7)$$

10. Prokluz

Pro spoje provedené pomocí spojovacích prostředků kolíkového typu se musí určit modul prokluzu jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku při provozním zatížení. [10]

Prokluz pro MSP:

$$K_{ser}(d = 12mm) = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 3,941 \text{ MN/m} \quad (10.1)$$

$$K_{ser}(d = 16mm) = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 5,255 \text{ MN/m} \quad (10.1)$$

Prokluz pro MSÚ:

$$K_{u,k}(d = 12mm) = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 2,628 \text{ MN/m} \quad (10.2)$$

$$K_{u,k}(d = 16mm) = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 3,503 \text{ MN/m} \quad (10.2)$$

$$K_{u,d}(d = 12mm) = k_{mod} \cdot \frac{K_{u,k}}{\gamma_M} = 1,472 \text{ MN/m} \quad (10.3)$$

$$K_{u,d}(d = 16mm) = k_{mod} \cdot \frac{K_{u,k}}{\gamma_M} = 1,962 \text{ MN/m} \quad (10.3)$$

11. Výpočet nosných prvků

Při navrhování jednotlivých prvků byly vybírány prvky s maximálními vnitřními silami. Maximální síly jsou vzaty z kombinace vypočítaných v programu Scia Engineer 2016. Posudek byl proveden pro oba mezní stavy – mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Jednotlivé prvky jsou navrženy na vzpěrný tlak, ohyb a jejich kombinaci, smyk. Výsledné vnitřní síly na jednotlivé prvky jsou uvedeny v příloze 4. Pro mezní stav použitelnosti byly vypsány hodnoty průhybů od stálého, hlavního a vedlejšího proměnného zatížení. Z těchto hodnot byl vypočítán maximální konečný průhyb. Hodnoty průhybů jsou uvedeny v příloze 5.

Ze zatěžovacích stavů byla vytvořena kombinace, která byla vynásobena příslušnými součiniteli, ze kterých byly vypočítány maximální vnitřní síly jednotlivých prvků. V příloze 3 je zobrazeno zatížení z jednotlivých zatěžovacích stavů.

Tabulka 8 – Kombinace zatížení

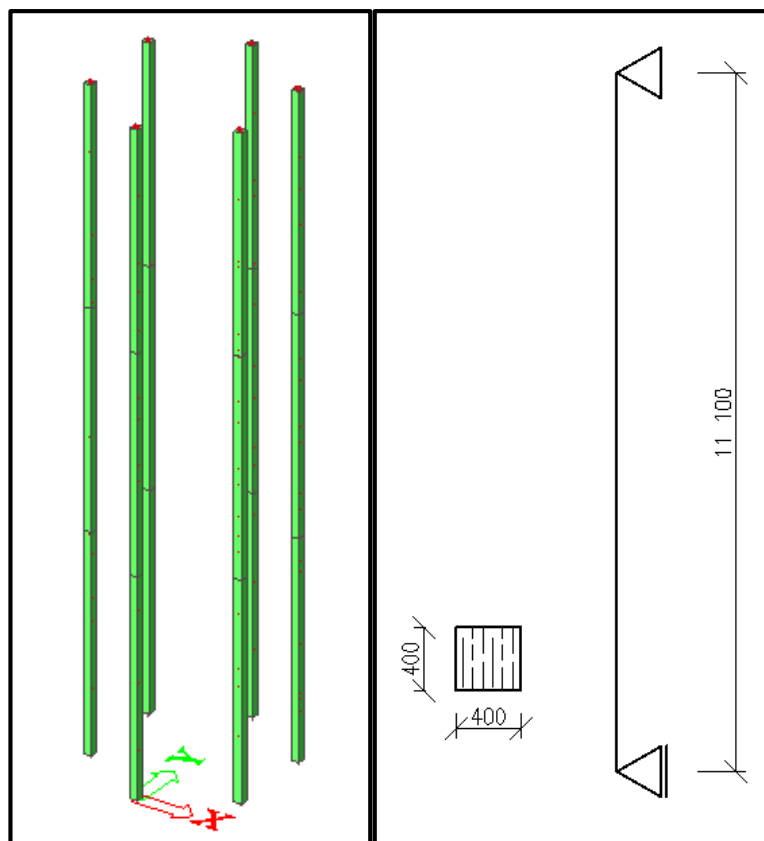
KOMBINACE - MSÚ				
Jméno	Popis	Typ působení	Doba působení	Skupina zatížení
ZS1_VLT	Vlastní tíha	Stálé	-	Stálé
ZS2_STALE	Stálé zatížení na konstrukci	Stálé	-	Stálé
ZS3_VÍTR	Vítr směr	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
ZS4_PROMĚNNÉ 1.PLOŠINA	Zatížení na plošinu č. 1	Proměnné	Krátkodobé	Proměnné_osoby
ZS4_PROMĚNNÉ 2.PLOŠINA	Zatížení na plošinu č. 2	Proměnné	Krátkodobé	Proměnné_osoby
ZS4_PROMĚNNÉ 3.PLOŠINA	Zatížení na plošinu č. 3	Proměnné	Krátkodobé	Proměnné_osoby
ZS4_PROMĚNNÉ SCHODY	Zatížení na schodiště	Proměnné	Krátkodobé	Proměnné_osoby
ZS4_PROMĚNNÉ SCHODY_1	Zatížení na schodiště	Proměnné	Krátkodobé	Proměnné_osoby

Tabulka 9 – Skupiny zatížení

Jméno	Typ zatížení	Vztah
Stálé	Stálé	-
Proměnné_osoby	Kategorie C5	Standard
Střecha	Kategorie H	Standard
Vítr	Vítr	Výběrová

11.1. Sloupy

Návrh byl proveden na hlavní sloupy rozhledny. Ze statického hlediska se jedná o prostě podepřené sloupy. Sloupy byly posouzeny na tlak, ohyb kombinaci ohybu a tlaku a smyk. Na obr. 29. je znázorněn průřez a statické schéma sloupů.



Obr. 29 – Sloupy – model, statické schéma, průřez

Mezní stav únosnosti

Rozměry prvku:

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$L = 11\,100 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:

$$M_y = 46,7 \text{ kNm} \quad (M_z = 31,01 \text{ kNm}, N = 103,22 \text{ kN})$$

$$N_{max} = 594,47 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 40,66 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,4 \cdot 0,4^3 = 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,4 \cdot 0,4^2 = 1,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,13 \cdot 10^{-3}}{1,07 \cdot 10^{-2}}} = 0,115 \text{ m}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L}{i_y} = \frac{11,1}{0,115} = 96,129$$

$$\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{96,129}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{19,2 \cdot 10^6}{9600 \cdot 10^6}} = 1,53$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{y,rel} - 0,3) + \lambda_{y,rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,53 - 0,3) + 0,1,53^2] \\ = 1,745$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{y,rel}^2}} = \frac{1}{1,745 + \sqrt{1,745^2 - 1,53^2}} = 0,387$$

Posudek na vzpěrný tlak:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{594,47 \cdot 10^3}{0,16} = 3,72 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} \leq 1$$

$$\frac{3,72 \cdot 10^6}{0,387 \cdot 13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,715 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Posudek na kombinaci tlaku a ohybu:

$$k_m = 1$$

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{103,22 \cdot 10^3}{0,16} = 0,645 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{46,7 \cdot 10^3}{1,07 \cdot 10^{-2}} = 4,378 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{31,01 \cdot 10^3}{1,07 \cdot 10^{-2}} = 2,907 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,645}{0,387 \cdot 13,44} + \frac{4,378}{13,44} + \frac{2,907}{13,44} \leq 1$$

$$0,124 + 0,326 + 0,216 \leq 1$$

$$0,666 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Smykové napětíÚčinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 0,107 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{40,66 \cdot 10^3}{0,107} = 0,57 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,57 \cdot 10^6}{1,96 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,291 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti

$$L = 11\,100\text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 36,6\text{ mm}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 36,6 \cdot (1 + 0 \cdot 2) = 36,6\text{ mm}$$

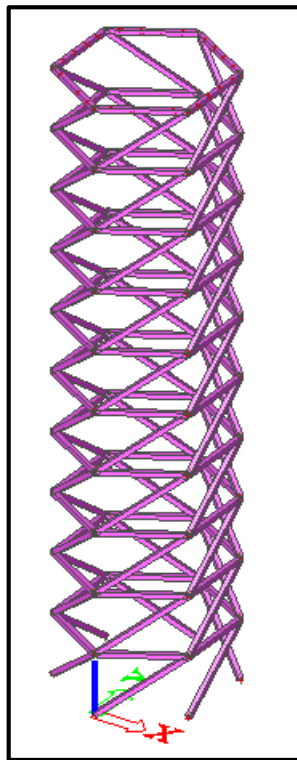
$$w_{fin} = w_{fin,Q1} = 36,6\text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq \frac{L}{150} \Rightarrow 36,6\text{ mm} \leq 74\text{ mm}$$

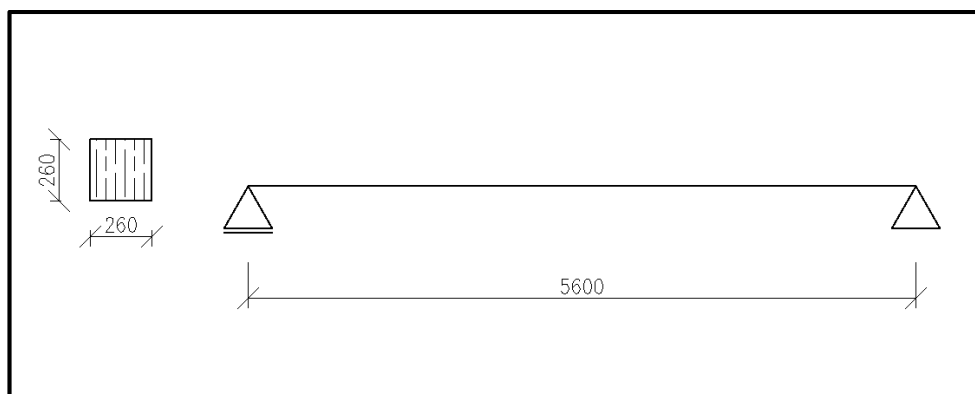
✓ Vyhovuje

11.2. Obvodové trámy

Návrh byl proveden na trámy tvořící vnější příhradovou konstrukci rozhledny. Ze statického hlediska se jedná o prostorové prostě podepřené šikmé nosníky. Trámy byly posouzeny na tlak, ohyb kombinaci ohybu a tlaku a smyk. Na obr 31. je znázorněn průřez a statické schéma obvodových trámů.



Obr. 30 – Model obvodových trámů



Obr. 31 – Statické schéma a průřez obvodových trámů

Mezní stav únosnosti

Rozměry prvku:

$$h = 260 \text{ mm}$$

$$b = 260 \text{ mm}$$

$$L = 5600 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:

$$M_y = 4,2 \text{ kNm} \quad (M_z = 1,31 \text{ kNm}, N = 9,44 \text{ kN})$$

$$N_{max} = 134,28 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 5,33 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,26 \cdot 0,26 = 0,068 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,26 \cdot 0,26^3 = 3,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,26 \cdot 0,26^2 = 2,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0,075 \text{ m}$$

Posudek na vzpěrný tlak:Poměrná štíhlost

$$\lambda_y = \frac{L}{i_y} = 67,15$$

$$\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = 1,069$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{y,rel} - 0,3) + \lambda_{y,rel}^2] = 1,123$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{y,rel}^2}} = 0,681$$

Posudek na vzpěrný tlak:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{134,28 \cdot 10^3}{0,068} = 1,98 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} \leq 1$$

$$0,21 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Posudek kombinaci vzpěru a ohybu:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N}{A} = \frac{9,44 \cdot 10^3}{0,068} = 0,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{4,2 \cdot 10^3}{2,93 \cdot 10^{-3}} = 1,434 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{1,31 \cdot 10^3}{2,93 \cdot 10^{-3}} = 0,447 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,14 \cdot 10^6}{0,681 \cdot 13,44 \cdot 10^6} + 1 \cdot \frac{1,434 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} + \frac{0,447 \cdot 10^6}{13,44 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,162 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Smykové napětíÚčinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,26 \cdot 0,26 = 0,045 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5,33 \cdot 10^3}{0,045} = 0,18 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,18 \cdot 10^6}{1,96 \cdot 10^6} \leq 1$$

$$0,09 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti

$$L = 5600 \text{ mm}$$

$$w_{inst,G} = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 1,8 \text{ mm (proměnné kategorie C5)}$$

$$w_{inst,Q2} = 36,5 \text{ mm (vítr)}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 2) = 1,2 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 1,8 \cdot (1 + 0,6 \cdot 2) = 3,96 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 36,5 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2) = 21,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} = 27,06$$

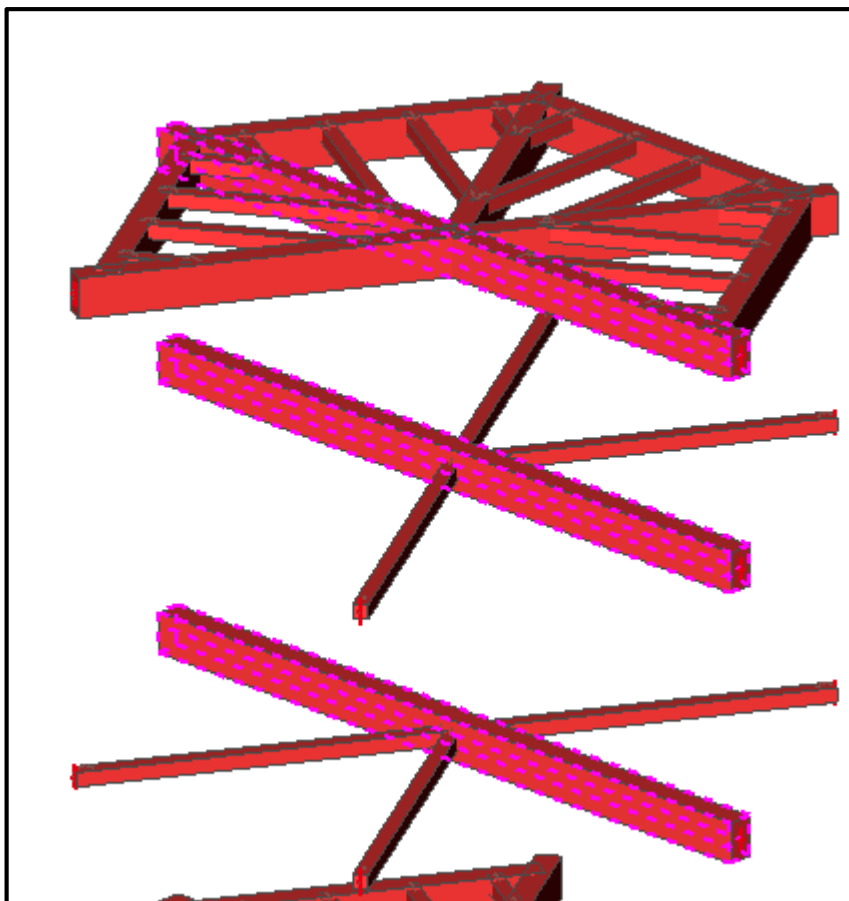
$$w_{fin} \leq \frac{L}{150}$$

$$27,06 \leq 37,33$$

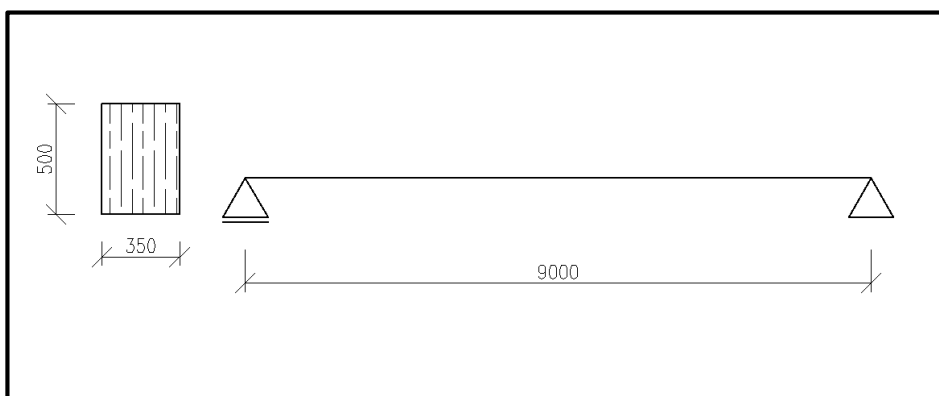
✓ Vyhovuje

11.3. Hlavní nosníky podlaží a ztužení

Ze statického hlediska se jedná o prostorové prostě podepřené nosníky. Nosníky byly posouzeny na tlak, ohyb a smyk. Na obr. 33. je znázorněn průřez a statické schéma hlavních nosníků podlaží a ztužení.



Obr. 32 – Hlavní nosníky podlaží a ztužení



Obr. 33 – Statické schéma a průřez hlavních nosníků podlaží a ztužení

Mezní stav únosnosti**Rozměry prvku:**

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$L = 9000 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:

$$M_y = 148,22 \text{ kNm} \quad (M_z = 17,74 \text{ kNm})$$

$$N_{max} = 29,85 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 60,02 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,35 \cdot 0,5 = 0,175 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

Posudek na prostý tlak:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{f_{c,0d}} \leq 1$$

$$0,013 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Posudek na ohyb:

$$k_m = 0,7$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 10,164 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 1,738 \text{ MPa}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,529 + 0,129 = 0,658 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,756 + 0,091 = 0,847 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Smykové napětí

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 0,117 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{60,02 \cdot 10^3}{0,117} = 0,77 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,39 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti

$$L = 9000 \text{ mm}$$

$$w_{inst,G} = 1,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 16,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q2} = 31,4 \text{ mm}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 3,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 36,08 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 18,84 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} = 58,52 \text{ mm}$$

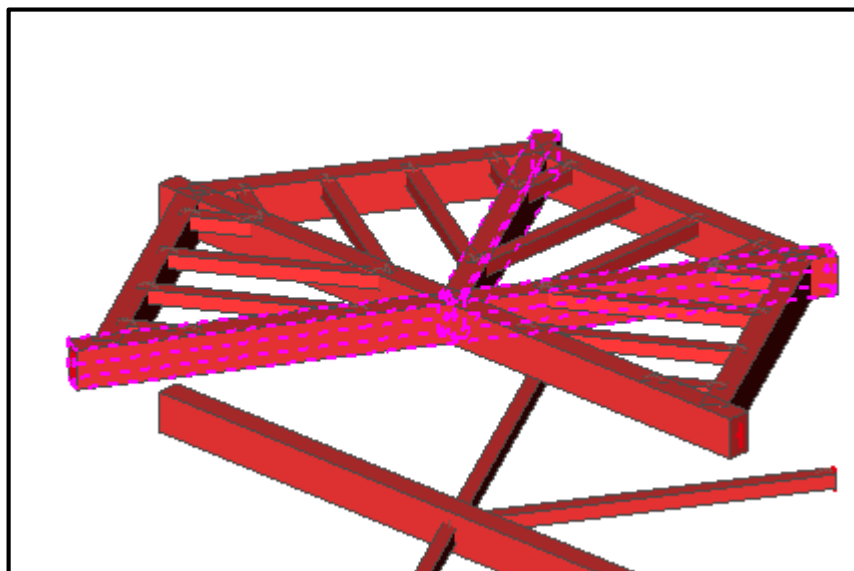
$$w_{fin} \leq \frac{L}{150}$$

$$58,52 \leq 60$$

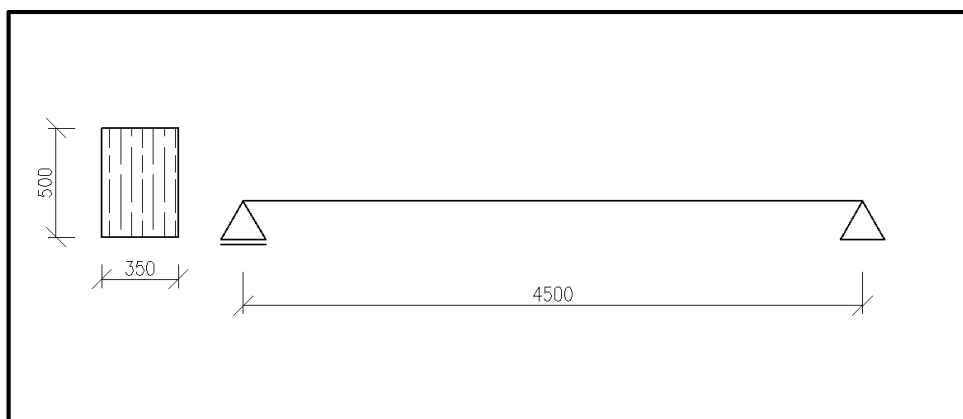
✓ Vyhovuje

11.4. Vedlejší nosníky podlaží

Ze statického hlediska se jedná o prostorové prostě podepřené nosníky. Nosníky byly posouzeny na tlak, ohyb a smyk. Na obr. 35 je znázorněn průřez a statické schéma vedlejších nosníků podlaží.



Obr. 34 – Model vedlejších nosníků ztužení



Obr. 35 – Statické schéma a průřez vedlejšího ztužení

Mezní stav únosnosti**Rozměry prvku:**

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:

$$M_y = 103,83 \text{ kNm} \quad (M_z = 3,45 \text{ kNm})$$

$$N_{max} = 50,77 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 62,87 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,35 \cdot 0,5 = 0,175 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

Posudek na prostý tlak:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{f_{c,0d}} \leq 1$$

$$0,022 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Posudek na ohyb:

$$k_m = 0,7$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 7,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,237 \text{ MPa}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,388 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,543 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Smykové napětí

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 0,117 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,41 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti

$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$w_{inst,G} = 0,9 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 3,5 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q2} = 31,5 \text{ mm}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 2,7 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 7,7 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 18,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,Q1} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} + w_{fin,Q3} = 29,3 \text{ mm}$$

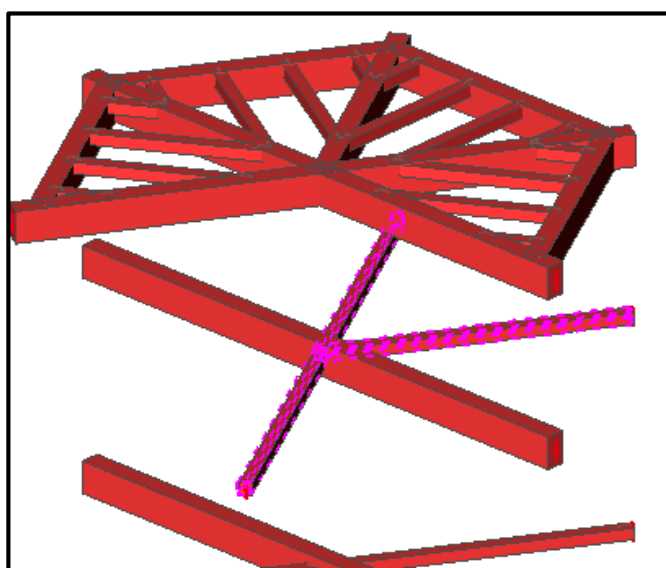
$$w_{fin} \leq \frac{L}{150}$$

$$29,3 \leq 30$$

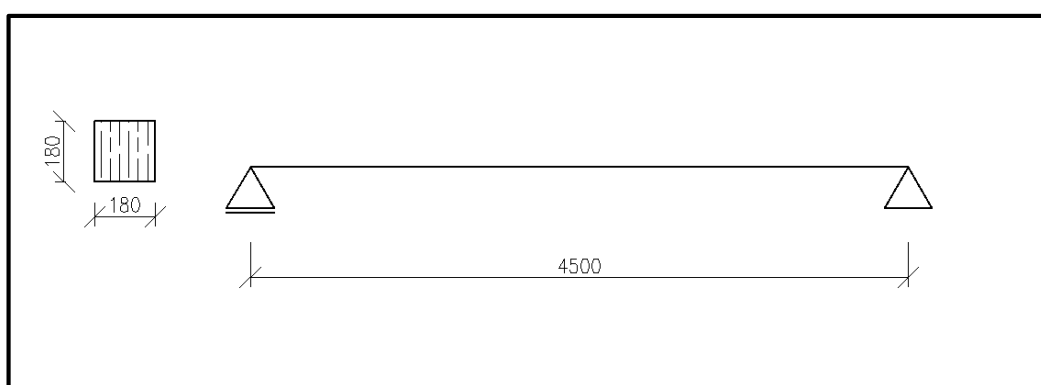
✓ Vyhovuje

11.5. Vedlejší nosníky ztužení

Ze statického hlediska se jedná o prostorové prostě podepřené nosníky. Nosníky byly posouzeny na tlak, ohyb a smyk. Na obr. 37 je znázorněn průřez a statické schéma vedlejších nosníků ztužení.



Obr. 36 – Model vedlejšího ztužení



Obr. 37 – Statické schéma a průřez vedlejšího ztužení

Mezní stav únosnosti**Rozměry prvku:**

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

Vnitřní síly:

$$M_y = 9,68 \text{ kNm} \quad (M_z = 0,35 \text{ kNm})$$

$$N_{max} = 14,92 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 5,31 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 8,748 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 9,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Posudek na prostý tlak:

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = 0,46 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{f_{c,0d}} \leq 1$$

$$0,034 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Posudek na ohyb:

$$k_m = 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 9,959 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Smykové napětí

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,022 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = 0,37 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,2 \leq 1$$

✓ Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti

$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$w_{inst,G} = 1,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 1,9 \text{ mm}$$

$$w_{inst,Q2} = 28,6 \text{ mm}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 3,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 4,18 \text{ mm}$$

$$w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 17,16 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,Q1} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} + w_{fin,Q3} = 24,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq \frac{L}{150}$$

$$24,94 \leq 30$$

✓ Vyhovuje

11.6. Maximální deformace rozhledny

$$L = 40\,700\text{mm}$$

$$w_{inst,G} = 0,5\text{ mm}$$

$$w_{inst,Q1} = 1,8\text{ mm}$$

$$w_{inst,Q2} = 43,1\text{ mm}$$

Konečný průhyb

$$k_{def} = 2$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 1,5\text{ mm}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 3,96\text{ mm}$$

$$w_{fin,Q2} = w_{inst,Q2} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 25,86\text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,Q1} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Q2} + w_{fin,Q3} = 31,32\text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq \frac{L}{1000}$$

$$31,32 \leq 40,7$$

✓ Vyhovuje

12. Detailní analýza vybraných spojů

Pro spoje jsou použity svorníky o průměru 16 mm a kolíky o průměru 12 mm. Většina spojů na konstrukci rozhledny je typu dřevo-ocel. Tloušťka ocelové desky je 10 mm.

Materiálové vlastnosti:

- Pevnost v otláčení dřevěného prvku

$$f_{h,k}(d = 12) = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 385 = 27,78 \text{ MPa}$$

$$f_{h,k}(d = 16) = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 385 = 26,52 \text{ MPa}$$

- Plastický moment

$$f_{u,k} = 300 \text{ MPa (třída pevnosti 3.6)}$$

$$M_{y,Rk}(d = 12) = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 57,56 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rk}(d = 16) = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 121,61 \text{ kNm}$$

12.1. Spoj 1

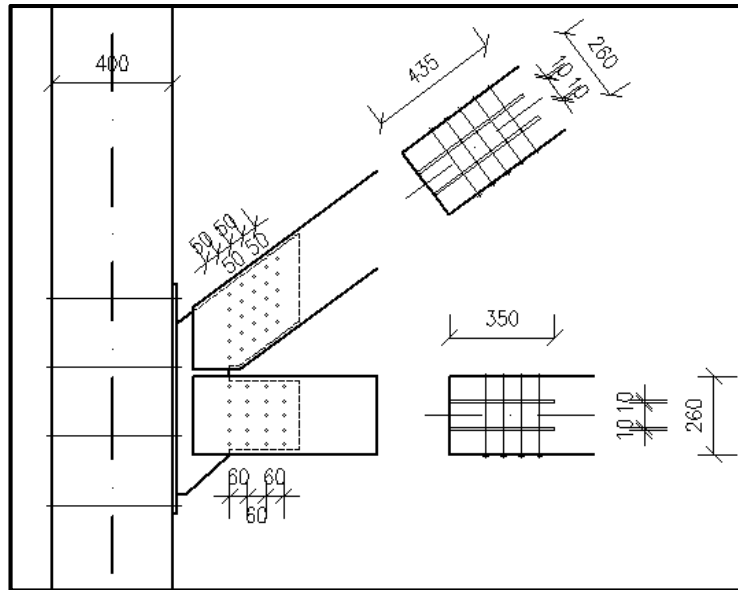
Jedná se o spojení vnějších trámů k hlavnímu sloupu. Spoj je proveden pomocí svorníků a kolíků (obr. 38, 39). Pro výpočet materiálových vlastností je použit menší spojovací prostředek- tedy kolík. Jedná se o 4-střížný spoj.

Aby bylo možné kombinovat únosnost jednotlivých stříhů ve více-střížném spoji, určující způsob porušení spojovacích prostředků v příslušných střížích má být kompatibilní s ostatními a nemá se skládat z kombinace způsobů porušení (c) a (f) z obr. 41, 42 .[10].



Obr. 38 – Spoj vedlejších trámů ke sloupu

Proto je proveden výpočet pro: dvojstřížný spoj-ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek, jednostřížný spoj-tenká deska a jednostřížný spoj-tlustá deska, z těchto hodnot byla vybrána nejmenší síla daná pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku (Obr. 40 - 42).



Obr. 39 – Pohled na spojení obvodových trámů ke sloupu

Návrh kolíku:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t_1 = 80 \text{ mm}$$

- Jednostřížný spoj-tenká deska

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases}$$

Obr. 40 – Jednostřížný spoj – tenká deska

$$F_{v,Rk} = \min (10,668; 324,2778) \text{ kN}$$

- Jednostřížný spoj-tlustá deska

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ f_{h,k} t_1 d & (c) \end{cases}$$

Obr. 41- Jednostřížný spoj – tlustá deska

$$F_{v,Rk} = \min (252,934; 318,606) \text{ kN}$$

- Dvojstřížný spoj-ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases}$$

Obr. 42 – Dvojstřížný spoj – ocelová deska libovolné tloušťky

$$F_{v,Rk} = \min (26,670; 252,930; 318,606) \text{ kN}$$

$$\text{Výsledné } F_{v,Rk} = 10,668 \text{ kN}$$

Výpočet vodorovného trámu:

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = n^{0,7} = 4^{0,7} = 2,639$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 28,153 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,ef,Rk}}{\gamma_M} = 15,766 \text{ kN}$$

Je navržen 4-střížný spoj s 5 řady:

$$F_{v,Rd,výsl} = 4 \cdot 5 \cdot F_{v,Rd} = 315,32 \text{ kN} \geq N = 98,19 \text{ kN}$$

✓ Vyhovuje

Výpočet šikmého trámu:

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = n^{0,7} = 5^{0,7} = 3,085$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 32,912 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,ef,Rk}}{\gamma_M} = 18,43 \text{ kN}$$

Je navržen 4-střížný spoj s 5 řady:

$$F_{v,Rd,výsl} = 4 \cdot 5 \cdot F_{v,Rd} = 386,626 \text{ kN} \geq N = 134,28 \text{ kN}$$

✓ Vyhovuje

Posudek ocelové desky:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$h_{plechu} = 230 \text{ mm}$$

$$A = 0,23 \cdot 0,01 = 0,0023 \text{ m}^2$$

$$A_{net} = A - \Sigma d \cdot t = 0,0023 - 5 \cdot 0,012 \cdot 0,01 = 0,0017 \text{ m}^2$$

$$N_{rd} = \min\left(\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}\right) = \min(470; 600,23) \Rightarrow 470 \text{ kN}$$

$$N_{rd} = 470 \text{ kN} \geq N_{ed} = 130,28 \text{ kN}$$

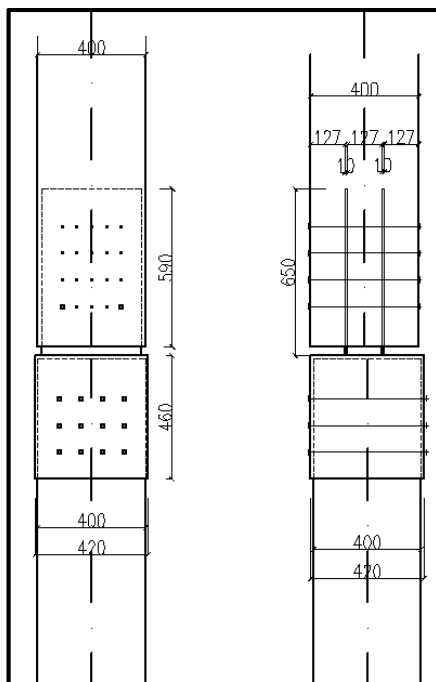
✓ Vyhovuje

12.2. Spoj 2

Jedná se o spojení hlavních sloupů. Spoj je proveden pomocí svorníků a kolíků (obr. 43, 44).



Obr. 43 – Spoj hlavních sloupů



Obr. 44- Pohled na spojení hlavních sloupů

Výpočet horní části spoje:

Aby bylo možné kombinovat únosnost jednotlivých stříhů ve víceštížném spoji, určující způsob porušení spojovacích prostředků v příslušných střížích má být kompatibilní s ostatními a nemá se skládat z kombinace způsobů porušení (c) a (f) z obr. 41, 42 . [10].

Proto je proveden výpočet pro: dvojštížný spoj-ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek, jednoštížný spoj-tenká deska a jednoštížný spoj-tlustá deska, z těchto hodnot byla vybrána nejmenší síla daná pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku (Obr. 40 - 42).

Návrh kolíku:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t_1 = 127 \text{ mm}$$

$$\text{Výsledné } F_{v,Rk} = 16,94 \text{ kN}$$

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = n^{0,7} = 5^{0,7} = 3,085$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 52,25 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,ef,Rk}}{\gamma_M} = 29,26 \text{ kN}$$

Je navržen 4-střížný spoj s 4 řady:

$$F_{v,Rd,výsl} = 4 \cdot 4 \cdot F_{v,Rd} = 468,15 \text{ kN} \geq N = 320 \text{ kN}$$

✓ Vyhovuje

Výpočet spodní části spoje:

Jedná se o dvojstřížný spoj typu dřevo – ocel. Spoj je proveden pomocí 12-ti svorníků o průměru 16 mm.

Návrh svorníku:

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t_2 = 400 \text{ mm}$$

Dvojstřížný spoj – tenká deska jako vnější prvek:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(j)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

Obr. 45 – Dvojstřížný spoj – tenká deska jako vnější prvek

$$F_{v,Rk} = \min (84,86; 369,43) \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} = 84,86 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 47,52 \text{ kN}$$

Je navržen 2-střížný spoj s 12-ti svorníky:

$$F_{v,Rd,výsl} = 2 \cdot 12 \cdot F_{v,Rd} = 1140,52 \text{ kN} \geq N = 320 \text{ kN}$$

✓ Vyhovuje

12.3. Spoj 3

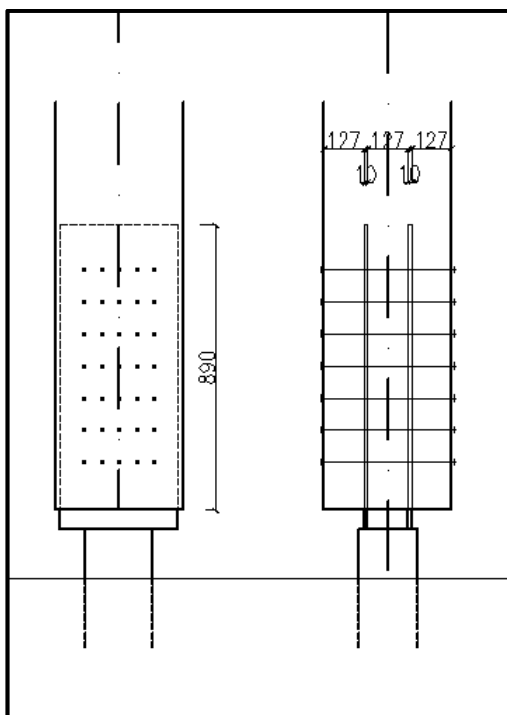
Jedná se o spojení hlavního sloupu s ŽB základem. Spoj je proveden pomocí svorníků a kolíků (obr. 46, 47). Pro výpočet materiálových vlastností je použit menší spojovací prostředek- tedy kolík. Jedná se o 4-střížný spoj.

Aby bylo možné kombinovat únosnost jednotlivých stříhů ve více-střížném spoji, určující způsob porušení spojovacích prostředků v příslušných střížích má být kompatibilní s ostatními a nemá se skládat z kombinace způsobů porušení (c) a (f) z obr. 41, 42. [10].



Obr. 46 – Spojení sloupu se základem

Proto je proveden výpočet pro: dvojstřížný spoj-ocelová deska libovolné tloušťky jako střední prvek, jednostřížný spoj-tenká deska a jednostřížný spoj-tlustá deska, z těchto hodnot byla vybrána nejmenší síla daná pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku (Obr. 40 - 42).



Obr. 47 – Pohled na spojení sloupu se základem

Návrh kolíku:

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$t_1 = 127 \text{ mm}$$

$$\text{Výsledné } F_{v,Rk} = 16,94 \text{ kN}$$

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = n^{0,7} = 5^{0,7} = 3,085$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} = 52,25 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,ef,Rk}}{\gamma_M} = 29,26 \text{ kN}$$

Je navržen 4-střížný spoj s 7 řady:

$$F_{v,Rd,výsl} = 4 \cdot 7 \cdot F_{v,Rd} = 819,27 \text{ kN} \geq N = 594,47 \text{ kN}$$

✓ Vyhovuje

13. Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh a posudek vybraných prvků a spojů turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva.

V první části byla zpracována historie a typy rozhleden.

Ve druhé části diplomové práce byl proveden výpočet zatížení na konstrukci rozhledny, následně byl zpracován model v programu Scia Engineer 2016 pro výpočet vnitřních sil a deformací.

V poslední části byl proveden návrh a posudek jednotlivých prvků a spojů konstrukce. Pro posouzení byly použity normy ČSN EN. Konstrukce byla posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Diplomová práce obsahuje výkresovou dokumentaci zpracovanou v programu AutoCAD Architecture 2014.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Mikoláškoví Ph.D za ochotu a cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Tomášovi Pechovi a paní Ing. Ivetě Plucarové za poskytnuté výkresy od firmy Czech Canada s.r.o. Poděkování také patří mé rodině a příteli za trpělivost, kterou se mnou měli během zpracování této práce.

Zdroje

- [1] ČSN EN 1991-1-1: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [2] ČSN EN 1991-1-3: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-4: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN EN 1995-1-1: *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla–Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN EN 1995-1-2: *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla–Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] ČSN EN 14080: *Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [7] KOŽELOUH Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5, STEP 1: Navrhování a konstrukční materiály*.
- [8] KOŽELOUH Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5, STEP 2: Navrhování detailů a nosných systémů*. 2004.
- [9] NOUZA Jan. *Rozhledny Čech, Moravy a Slezka*, Liberec: Nakladatelství 555, 1999.
- [10] <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>
- [11] <http://www.atlasceska.cz/ceska-republika/rozhledny/>
- [12] <http://rozhledny.yc.cz/historie.htm>
- [13] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozhledna>
- [14] http://www.tto.cz/vyskove_stavby_rozhledny.html
- [15] <http://rozhledny.webzdarma.cz/>
- [16] <http://www.ceskanadazvysky.cz>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Rozhledna na Kozubové [15]	- 14 -
Obr. 2 - Rozhledna na Malé Prašivé [15]	- 14 -
Obr. 3- Mapa rozhleden ČR [http://rozhledny.kohl.cz/mapa]	- 15 -
Obr. 4 – Josefovská věž a Kleti	- 16 -
Obr. 5 - Minaret	- 16 -
Obr. 6 – Lehká rozhledna	- 17 -
Obr. 7 – Těžká rozhledna.....	- 17 -
Obr. 8- Dřevěné rozhledny: Velký Javorník, Lipno, Dolní Morava.....	- 18 -
Obr. 9 – Ocelová rozhledna - Jarník	- 18 -
Obr. 10 – Zděná rozhledna – Jedlová	- 19 -
Obr. 11- Vodárenská věž v Heřmanové Huti [15].....	- 19 -
Obr. 12 – Rozhledny: Vartovna, na Fajntově kopci [14], Borůvka [14]	- 20 -
Obr. 13- Rozhledny Lhotka u Hradčovic, Hostýn [14]	- 21 -
Obr. 14 – Rozhledna u Jakuba	- 22 -
Obr. 15 – Situace rozhledny u Jakuba	- 23 -
Obr. 16 – Trasa na rozhlednu.....	- 23 -
Obr. 17 – Sloupy, obvodové trámy, ztužení	- 24 -
Obr. 18 – Prvky ztužení	- 24 -
Obr. 19 - Schodiště	- 25 -
Obr. 20 – Konstrukce střechy	- 25 -
Obr. 21 – Model x reálná konstrukce	- 26 -
Obr. 22 – Výchozí rychlost větru [3].....	- 32 -
Obr. 23 – Schéma terénu [www.mapy.cz].....	- 33 -
Obr. 24 – Součinitel pro kopce a hřebeny hor [3]	- 33 -
Obr. 25- Vítr působící na půdorys střechy.....	- 35 -
Obr. 26 – Náhled na patro rozhledny.....	- 36 -
Obr. 27 – Součinitel koncového efektu [3].....	- 36 -
Obr. 28 – Součinitel síly pro prostorovou příhradovou konstrukci [3]	- 37 -
Obr. 29 – Sloupy – model, statické schéma, průřez	- 40 -
Obr. 30 – Model obvodových trámů.....	- 43 -
Obr. 31 – Statické schéma a průřez obvodových trámů	- 44 -
Obr. 32 – Hlavní nosníky podlaží a ztužení.....	- 47 -

Obr. 33 – Statické schéma a průřez hlavních nosníků podlaží a ztužení.....	- 47 -
Obr. 34 – Model vedlejších nosníků ztužení	- 50 -
Obr. 35 – Statické schéma a průřez vedlejšího ztužení	- 50 -
Obr. 36 – Model vedlejšího ztužení.....	- 53 -
Obr. 37 – Statické schéma a průřez vedlejšího ztužení	- 53 -
Obr. 38 – Spoj vedlejších trámů ke sloupu	- 57 -
Obr. 39 – Pohled na spojení obvodových trámů ke sloupu	- 58 -
Obr. 40 – Jednostřížný spoj – tenká deska.....	- 58 -
Obr. 41- Jednostřížný spoj – tlustá deska	- 58 -
Obr. 42 – Dvojtřížný spoj – ocelová deska libovolné tloušťky	- 59 -
Obr. 43 – Spoj hlavních sloupů	- 60 -
Obr. 44- Pohled na spojení hlavních sloupů	- 61 -
Obr. 45 – Dvojtřížný spoj – tenká deska jako vnější prvek	- 62 -
Obr. 46 – Spojení sloupu se základem.....	- 63 -
Obr. 47 – Pohled na spojení sloupu se základem	- 63 -

Seznam tabulek

Tabulka 1 – LLD: GL24h	- 27 -
Tabulka 2 – Stálé zatížení: střešní plášť	- 29 -
Tabulka 3 – Stálé zatížení: podlaží	- 29 -
Tabulka 4 – Stálé zatížení: schodiště	- 29 -
Tabulka 5 – Proměnné zatížení: střecha	- 30 -
Tabulka 6 – Proměnné zatížení: plošiny a schodiště	- 30 -
Tabulka 7 – Minimální a maximální součinitele pro zatížení větrem na střechu	- 34 -
Tabulka 8 – Kombinace zatížení	- 39 -
Tabulka 9 – Skupiny zatížení.....	- 39 -

Použité programy

Microsoft Word 2013

Microsoft Excel 2013

Scia Engineer 2016

AutoCAD Architecture 2014

Přílohy

Příloha 1.

Čestné prohlášení

Příloha 2.

Fotky ze stavby [14]

Příloha 3.

Zatížení

Příloha 4.

Vnitřní síly

Příloha 5.

Deformace

Příloha 6.

Výkresová dokumentace

Číslo výkresu	Název	Měřítko
FOJ0049 - 1	POHLED SMĚR – X	1:100
FOJ0049 - 2	POHLED SMĚR – Y	1:100
FOJ0049 - 3	ŘEZ A-A	1:75
FOJ0049 - 4	ŘEZ B-B	1:75
FOJ0049 - 5	ŘEZ C-C	1:75
FOJ0049 - 6	ŘEZ D-D	1:75
FOJ0049 – 7	PŮDORYS SCHODIŠTĚ	1:75
FOJ0049 - 8	SPOJ 1	1:15
FOJ0049 - 9	SPOJ 2	1:15
FOJ0049 - 10	SPOJ 3	1:15